Tópicos de Física e de Ensino de Física

A Produção Acadêmico-Científica de SÉRGIO ESPERIDIÃO

Suani Pinho & Amin Bassrei
Organizadores

Antônio Sérgio Cavalcante Esperidião
(28.12.1952* – 29.08.2005†)

Tópicos de Física
e de Ensino de Física

Tópicos de Física e de Ensino de Física

a Produção Acadêmico-Científica de Sérgio Esperidião

Suani Pinho & Amin Bassrei
Organizadores

EDUFBA
Salvador | Bahia | 2008

Projeto gráfico, capa e editoração eletrônica
Alana Gonçalves de Carvalho

Revisão
Simone T. R. P. Lima

Biblioteca Central Reitor Macêdo Costa – UFBA

Tópicos de física e de ensino de física : a produção acadêmico-científica de Sérgio Esperidião / Suani Pinho & Amin Bassrei (organizadores). - Salvador : EDUFBA, 2008.
98 p. : il.

Trabalhos apresentados no Workshop in Memorian Prof. Antônio Sérgio Cavalcante Esperidião, realizado em 9 de março de 2006, promovido pelo Instituto de Física da UFBA.
ISBN 978-85-232-0511-9

1. Cavalcante, Antônio Sérgio Esperidião, 1952-2005 - Vida Intelectual. 2. Física - Estudo e ensino. 3. Professores universitários - Biografia. I. Pinho, Suani. II. Bassrei, Amin.

CDD - 530.7

EDUFBA
Rua Barão de Jeremoabo, s/n
Campus de Ondina, Salvador-BA
40170-290
Tel/fax: (71) 3283-6164
www.edufba.ufba.br
edufba@ufba.br

AGRADECIMENTOS

Sérgio tinha o dom de ensinar, mais do que isso, ele se doava integralmente a esta atividade. Durante toda a sua vida profissional, desde o período nas escolas do ensino médio até a universidade, foi muito querido e homenageado por seus alunos. Isto o deixava muito feliz e realizado. Era a prova de que ele estava no caminho certo.

Dedicava-se às pesquisas também com muito afinco, incansável, determinado. Tinha por seus colegas de trabalho muita admiração, respeitando as diferenças de cada um.

Todas as lembranças, fotos, placas e cartões de seus alunos foram guardados por ele com muito carinho. Cada trabalho científico publicado era comemorado com alegria. Cada relacionamento de amizade ou coleguismo foi cultivado dia a dia.

As famílias Esperidião, Cavalcante e Azevedo, com o mesmo carinho e alegria, e profundamente orgulhosas, agradecem a todos pelo reconhecimento e pelas manifestações de carinho. Em especial, agradecemos aos amigos, colegas, funcionários e alunos do Instituto de Física da UFBA por esta incomensurável recordação.

MUITO OBRIGADO

Milena Azevedo Esperidião
Monique Azevedo Esperidião
Sergio Andrei Azevedo Esperidião
Maria Cecília Azevedo Esperidião

MEMÓRIAS DO PROF. DR. ANTÔNIO SÉRGIO CAVALCANTE ESPERIDIÃO

Trecho do discurso, como Paraninfo dos formandos do curso de Licenciatura e Bacharelado em Física de 2004.1, em sua última homenagem em vida.

"... Voltando à sala de aula, desejo que vocês possam se doar na arte de ensinar, pois acredito que ensinar é como samba, não se aprende na escola, porém, é na escola que aperfeiçoamos a arte de ensinar, um dom inerente àquela pessoa que se propõe a tal atividade ..."

".... A motivação mais importante para o trabalho na escola e na vida é o gosto pelo trabalho, o prazer no resultado e o conhecimento daquilo que o resultado pode trazer à comunidade....." palavras de Albert Einstein, as quais comungo integralmente..."

... "Que os nossos Deuses nos iluminem, sucesso para todos e mais uma vez muito obrigado."

Praia de Jauá, 01/03/2005.

*Sérgio Esperidião (*In Memorian)

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO

No dia 9 de março de 2006, realizou-se, no Instituto de Física da UFBA, encontro temático envolvendo alguns dos assuntos de interesse do Prof. Antônio Sérgio Cavalcante Esperidião ao longo de sua vida acadêmica.

O Prof. Sérgio Esperidião, membro atuante de nossa comunidade acadêmica, além das atividades de ensino na graduação e na pós-graduação, orientou inúmeros alunos de iniciação científica e de mestrado. Realizou pesquisas em várias áreas da Física e foi, em três ocasiões, chefe do Departamento de Física Geral.

A presente publicação, organizada pelos professores Suani Pinho e Amin Bassrei, sistematiza os trabalhos apresentados naquele encontro. É a continuidade de uma justa homenagem ao nosso colega Esperidião, falecido prematuramente em 29 de agosto de 2005.

Foi com profunda tristeza e grande comoção que o Instituto de Física da Universidade Federal da Bahia recebeu a notícia do seu falecimento. Sérgio Esperidião, muito querido por colegas e alunos, deixou saudade e uma triste lacuna com sua inesperada e precoce partida.

Salvador, junho de 2008.

Arthur Matos Neto
Diretor do Instituto de Física da UFBA

Universidade Federal da Bahia
Instituto de Física

WORKSHOP *IN MEMORIAN*

Prof. Antônio Sérgio Cavalcante Esperidião

No dia 9 de março o Instituto de Física realizará um workshop em homenagem ao Prof. Sérgio Esperidião, falecido no dia 29 de agosto de 2005.

Local: Instituto de Física da UFBA — Sala de Seminários (404)
Data: 09/03/2006 — Horário: 9 horas

Programação:

9 h - **Abertura**
Prof. Arthur Matos Neto (IF-UFBA)

9:30 h - **Biografia acadêmica**
Prof. Caio de Castilho (IF-UFBA)

10 h - **Sergio Esperidião e o ensino da Física**
Prof. Klaus Weltner (Universität Frankfurt)
Prof. Paulo Miranda (IF-UFBA)

10:30 h - Intervalo para café

11 h - **A imersão de Carleman e sua aplicação ao modelo de Hénon-Heiles**
Prof. Roberto Andrade (IF-UFBA)

11:30 h - **Utilização de semicondutores em dosimetria de raios X diagnóstico**
Prof. Marcus Navarro (CEFET-BA)

12 h - Intervalo para o almoço

14 h - **Elaboração de recursos didáticos utilizando materiais de fácil acesso numa perspectiva construtivista**
Prof. Sérgio Borges (Fac. Jorge Amado)

14:30 h - **Contribuições ao estudo da sonda de Foley adaptada para tamponamento nasal posterior em epistaxe**
Prof. Fernando Gaspar (FAMED-UFBA)

15 h - **Difração de eletrons de baixa energia (LEED) e a determinação da estrutura atômica de superfícies ordenadas**
Prof. Fernando Brito Mota (IF-UFBA)

15:30 h - **Experimentos interativos para o Museu da Universidade do Estado da Bahia**
Prof. José Garcia Miranda (IF-UFBA)
Prof. Pablo Piras (EP-UFBA)
Prof. Iuri Pepe (IF-UFBA)
Profa. Marise Rocha (MCT-UNEB)

16 h - **Confraternização**

Cartaz do evento realizado em 09.03.2006

PREFÁCIO

O dia 29 de agosto de 2005 foi de grande perplexidade para o Instituto de Física da Universidade Federal da Bahia (IF/UFBA). A notícia do súbito falecimento de Antônio Sérgio Cavalcante Esperidião, professor adjunto do Departamento de Física Geral (DFG) do IF/UFBA e então chefe daquele Departamento, espalhou-se rapidamente pelos corredores do Instituto.

No começo de sua carreira, Sérgio foi professor do ensino médio em Salvador – ensinou Física em escolas particulares de prestígio como o Colégio Nossa Senhora da Vitória (Marista) e o Instituto Social da Bahia (ISBA), este no bairro de Ondina, próximo ao IF/UFBA, sua casa principal, onde trabalharia por 26 anos.

Sérgio estava em pleno exercício de suas atividades didáticas, científicas e administrativas, quando, aos 52 anos, foi vítima de um infarto fulminante. Em duas ocasiões anteriores, havia sido chefe do Departamento durante poucos meses. Em janeiro de 2002, fora eleito para um mandato de dois anos, e em janeiro de 2004 reconduzido ao cargo, embora o destino não lhe tenha permitido concluir o segundo mandato.

Sérgio orientou dezenas de alunos de Iniciação Cientifica, todos estudantes da UFBA, em sua maioria dos cursos de Física e de Engenharia Elétrica. Orientou, ainda, dois alunos de mestrado. Como pesquisador, publicou dezenas de artigos, a maioria em revistas estrangeiras. Participou de dezenas de congressos de Física, com mais freqüência do Encontro Nacional de Física da Matéria Condensada e do Encontro de Físicos do Norte e Nordeste, respectivamente, os mais importantes eventos de Física no cenário nacional e do nordeste do país.

Sérgio tinha uma série de qualidades, que, no mínimo, são difíceis de encontrar numa só pessoa. Tinha um permanente senso de humor, às vezes exagerado, outras vezes sarcástico. Não sentia rancor ao lidar com os atritos do cotidiano. Na escolha entre brigar e não brigar, Sérgio não pensava duas vezes, e evitava a contenda. Estava sempre disposto a trabalhar, fosse pelo Departamento ou pelo Instituto, não medindo esforços. Além de realizar as eternas atividades obrigatórias de ensino da graduação, ministrou algumas vezes disciplinas em nível de pós-graduação, foi pesquisador e também burocrata, e, não satisfeito, ainda se envolvia

em atividades de extensão. Foi justamente quando voltava de uma reunião no Museu de Ciência e Tecnologia do Estado da Bahia, que sofreu o ataque cardíaco, enquanto dirigia.

Sua marca continua presente em todos aqueles que com ele conviveram. Deixamos aqui um registro de algumas das suas contribuições científicas, que foram apresentadas no *workshop* realizado em sua homenagem em 9 de março de 2006 no Instituto de Física da UFBA.

Tais textos seguem a trajetória acadêmico-científica de Sérgio: uma nota biográfica, seus trabalhos de mestrado e doutorado, sua contribuição ao ensino de Física na área experimental, seu grupo de pesquisa, a primeira orientação em Física, uma contribuição interdisciplinar, a primeira orientação em ensino de Física e, finalmente, um projeto de extensão, agora concretizado.

Salvador, junho de 2008.

Suani Pinho e Amin Bassrei

ANTÔNIO SÉRGIO CAVALCANTE ESPERIDIÃO (1953-2005)
Biografia, Publicações e Alunos

Formação: graduação em Física pela Universidade Federal da Bahia (1973-1978); mestrado em Física pela Universidade Federal da Bahia (1981-1985), título da dissertação: Aplicação do Método de Carleman ao Modelo de Hénon-Heiles (orientador: R. F. S. Andrade); doutorado em Física pela Universidade Estadual de Campinas (1984-1991), título da tese: Plasma Duplo Fora do Equilíbrio em Semicondutores Fotoexcitados (orientadora: A. R. Vasconcellos); e pós-doutorado pela Lawrence Berkeley National Laboratory University of California at Berkeley (1999-2000).

Atuação profissional: Professor no ensino médio no Instituto Social da Bahia (segunda metade da década de 1970). Na Universidade Federal da Bahia: Professor Colaborador (1979-1980); Professor em regime de 40 horas com Dedicação Exclusiva desde 1981, sendo Assistente I (1981-1983), Assistente II (1983-1985), Assistente IV (1985-1987), Adjunto I (1987-1989), Adjunto II (1989-1991), Adjunto III (1991-1993), Adjunto IV (desde 1994). Foi Chefe do Departamento de Física Geral do Instituto de Física da UFBA em diversas ocasiões: durante alguns meses em 1995, e depois no período de janeiro de 2002 a janeiro de 2004, quando foi reconduzido ao cargo, com mandato até janeiro de 2006.

Artigos completos publicados em periódicos e capítulos de livros

(1) Esperidião, A. S. C., and Andrade, R. F. S., 1986, Occurrence of secular terms in the Carleman embedding, Journal of Mathematical Physics, volume 27, 66-70.

(2) Esperidião, A. S. C., Vasconcelos, A. R., and Luzzi, R., 1989, Photoinjected carriers acoustic plasma oscillations, Solid-State Electronics, volume 32, 1225-1227.

(3) Esperidião, A. S. C., Vasconcellos, A. R., and Luzzi, R., 1990, Acoustic-plasmon branches in photoexcited semiconductors, Solid State Communications, volume 73, 275-279.

(4) Esperidião, A. S. C., Vasconcellos, A. R., and Luzzi, R., 1990, Nonequilibrium phase transitions in photoinjected plasma in semiconductors. Solid State Communications, volume 73, 673-676.

(5) Esperidião, A. S. C., Vasconcellos, A. R., and Luzzi, R., 1990, Steady-state polarization waves in photoexcited n-doped semiconductors. Solid State Communications, volume 74, 889-892.

(6) Esperidião, A. S. C., Vasconcelos, A. R., and Luzzi, R., 1990, Raman scattering by photoexcited plasma in semiconductors. In Proceedings of the XII International Conference on Raman Spectroscopy, 68-69, edited by J. R. Durig, Wiley, New York.

(7) Esperidião, A. S. C, Vasconcellos, A. R., and Luzzi, R., 1990, Condensation of photo carriers in a polarizable nonconduction dissipative state. In Proceedings of the 20th International Conference on the Physics of Semiconductors, 2209-2212, edited by E. Anastassakis and J.D. Janopoulos, World Scientific, Singapore.

(8) Esperidião, A. S. C., Vasconcellos, A. R., and Luzzi, R., 1990, Collective behavior in a plasma in photoexcited semiconductors. In Proceedings of the 20th International Conference on the Physics of Semiconductors, 2491-2493, edited by E. Anastassakis and J.D. Janopoulos, World Scientific, Singapore.

(9) Esperidião, A. S. C., Vasconcellos, A. R., and Luzzi, R., 1991, Collective behavior of photoinjected plasma in semiconductors, Physica Status Solid B, volume 168, P. 533-545.

(10) Esperidião, A. S. C., Guedes, G. P., Weltner, K., e Andrade, R. F. S, 1992, Espaço de fase do pêndulo físico não-linear: experimento e integração numérica. Revista Brasileira de Ensino de Física, volume 14, 78-86.

(11) Esperidião, A. S. C., Brum, J. A., and Ramos, J. G., 1992, Chemical bond approach to the dielectric constant of semiconductors, Physica Status Solid B, volume 171, 417-428.

(12) Esperidião, A. S. C., Vasconcellos, A. R., and Luzzi, R., 1992, Coexistence of conducting and nonconducting phase on the metallic side of the Mott

transition in photoinjected semiconductors, Journal of Physics and Chemistry of Solids, volume 53, 1111-1119.

(13) Weltner, K., Esperidião, A. S. C., Guedes, G. P., and Andrade, R. F. S., 1992, Das physikalische Pendel Resonanzkurve, chaotisches Verhalten und Bistabilitat. Der Mathematische und Naturwissenschaftliche Unterricht, volume 45, 298-301.

(14) Weltner, K., Esperidião, A. S. C., Guedes, G. P., and Andrade, R. F. S., 1992, Versuche zu erzwungenem schwingungem, Ubergang zu chaotischem Verhalten und Bisstabilitat eines physikalischen Pendels, Zur Didaktik der Physik und Chemie, Probleme und Perpektiven, 266-268.

(15) Esperidião, A. S., Vasconcelos, A. R., Luzzi, R., 1993, Dissipative Steady-State Spatial Ordering In Photoexcited Polar Semiconductors. International Journal of Modern Physics B, volume 7, 1157-1173.

(16) Weltner, K., and Esperidião, A. S. C., 1993, Ein zugang zur nichtlinearen Physik am beispiel des getriebenen physikalischen Pendel, Der Mathematische und Naturwissenschaftliche Unterricht, volume 46, 228-234.

(17) Weltner, K., and Esperidião, A. S. C., 1993, Ein einfacher zugang zur Physik nichtlinearer Phanomene, Zur Didaktik der Physik und Chemie, Probleme und Perpektiven, 322-324.

(18) Weltner, K., Esperidião, A. S. C., Guedes, G. P., and Andrade, R. F. S., 1993, Das klassische Pendel als beispiel fur regularitat und chaos, Physik in der Schule, volume 2, 67-70.

(19) Weltner, K., and Esperidião, A. S. C., 1993, Der mechanische Oszillator als zugang zur behandlung nichtlinearer Phanomene, Wege in der Physik Didaktik, volume 3, P. 363-374.

(20) Weltner, K., Andrade, R. F. S., und Esperidião, A. S., 1993, Das Nichtlineare Getriebene Pendel als Zugang Zur Behandlung Nichtlinearer Phanomene. Zur Didaktic Der Physik und Chemie, 347-349.

(21) Weltner, K., Andrade, R. F. S., and Esperidião, A. S. C., 1994, Demonstrating different forms of the bent tuning curve with a mechanical oscillator, American Journal of Physics, volume 62, 56-59.

(22) Esperidião, A. S. C., Weltner, K., e Andrade, R. F. S., 1995, Uma abordagem da Física não-linear através de um oscilador mecânico, Revista Brasileira de Ensino de Física, volume 17, 11-20.

(23) Esperidião, A. S. C., Vasconcelos, A. R., and Luzzi, R., 1995, On the formation of dissipative spatial patterns of charge carries in biosystems, Il Nuovo Cimento, volume 17 D, 569-585.

(24) Vasconcellos, A. R., Luzzi, R., and Esperidião, A. S. C., 1995, Damped plasma waves in photoexcited plasma in semiconductors, Physical Review B, volume 52, 5021-5029.

(25) Esperidião, A. S. C., and Andrade, R. F. S., 1995, Dissipative structures in a double plasma on an excited semiconductor near one-dimensional system, International Journal of Modern Physics B, volume 9, 1099-1112.

(26) Esperidião, A. S. C., Oliveira, N. B., and Castilho, C. M. C., 1996, Local electric field variation in the field emission process. Journal de Physique IV, Supplement au Journal de Physique III, volume 6, 59-64.

(27) Weltner, K., Miranda, P., e Esperidião, A. S. C., 1998. Demonstração das oscilações forçadas e da curva da ressonância em classe. Revista Brasileira de Ensino de Física, volume 20, 434-436.

(28) Weltner, K., Ingelman-Sundberg, M., Esperidião, A. S. C., e Miranda, P., 2001. Dinâmica dos fluidos complementada e a sustentação da asa. Revista Brasileira de Ensino de Física, volume 23, 429-443.

(29) Esperidião, A. S., Weltner, K., Miranda, P., und Rocha, J. F. M., 2002. Das Schwerependel als hoch empfindliches Dynamometer. Didaktik Der Physik, volume 1, 1-4.

(30) Weltner, K., Esperidião, A. S, Miranda, P., und Rocha, J. F. M., 2003. Das Schwerependel als empfindlicher Kraftmesser. Der Mathematische und Naturwissenschaftiche Unterricht, volume 56, 278-279.

(31) Weltner, K, Esperidião, A. S., Miranda, P., e Rocha, J. F. M., 2004. O pêndulo gravitacional usado como dinamômetro sensível para medir forças eletromagnéticas. Caderno Catarinense de Ensino de Física, volume 21, 258-269.

(32) Esperidião, A. S., Weltner, K., Andrade, R. F. S., and Miranda, P., 2004. Introduction to the Treatment of non-linear Effects using a Gravitational Pendulum. Science and Education Journal, volume 13, 613-630.

(33) Esperidião, A. S., Gaspar Sobrinho, F., e Lessa, H. A., 2004. Efeito de lubrificantes sobre a integridade da sonda de Foley e implicações no

tamponamento nasal para epistaxe. Revista Brasileira de Otorrinolaringologia, Brasil, volume 70, 295-299.

(34) Correia, E. R., Castilho, C. M. C., Esperidião, A. S. C., Nascimento, V. B., Soares, E. A., and Carvalho, V. E., 2005. The Generalized Simulated Annealing Algoritm in the LEED Search Problem. Journal of Physics Condensed Matter, volume 17, 1-16.

(35) Castilho, C. M. C., Nascimento, V. B., Soares, E. A., Esperidião, A. S. C., Mota, F. B. e Carvalho, V. E., 2005. Difração de elétrons de baixa energia (LEED) e a determinação atômica de superfícies ordenadas. Revista Brasileira de Ensino da Física, volume 27, 527-543.

Orientações de Mestrado

(1) Marcus Vinícius Teixeira Navarro (Mestrado em Física – UFBA). Formação de estruturas dissipativas em semicondutores excitados por uma fonte de largo espectro. 1999.

(2) Sérgio Figueiredo Borges (Mestrado em Ensino, Filosofia e História das Ciências – UFBA). Elaboração de recursos didáticos experimentais utilizando materiais de fácil acesso, numa perspectiva construtivista. 2005.

Orientações de Iniciação Científica

(1) Carla Nery Abreu (aluna de Engenharia Elétrica – UFBA). Oscilações de carga em um semicondutor fotoexcitado. 1993 (CNPq).

(2) Luis Carlos Ogando Dacal (aluno de Física – UFBA). Cálculo das curvas de intensidade versus energia em experimentos de difração de elétrons com baixa energia. 1993 (CNPq).

(3) Raimundo Nonato Almeida Costa (aluno de Física – UFBA). Espalhamento de eletrons de baixa energia – Leed. 1993 (CNPq).

(4) André Domingos Araújo Souza (aluno de Física – UFBA). Cálculo da transferência de energia devido a diferentes canais de relaxação numa amostra semicondutora fotoexcitada. 1994.

(5) Catarina Bautista da Nova Moreira (aluna de Engenharia Elétrica – UFBA). Cálculo de funções de distribuições para um gás de eletrons. 1994 (CNPq).

(6) Catarina Bautista da Nova Moreira (aluna de Engenharia Elétrica – UFBA). Cálculo da taxa de energia dos fônons em semicondutores fotoexcitados. 1994 (CNPq).

(7) Josemilson de Meneses Bispo (aluno de Física – UFBA). Evolução temporal dos portadores em semicondutores fotoexcitados e cálculo das oscilações de carga. 1994.

(8) André Luiz Lima Mello (aluno de Física – UFBA). Determinação de Ramos de Cadeia do polietileno através da análise do espectro NMR. 1995 (CNPq).

(9) Carla Nery Abreu (aluna de Engenharia Elétrica – UFBA). Evolução de temporal de portadores fotoexcitados numa amostra de GaAs. 1995.

(10) Ezequiel de Arimatéia Nascimento de Oliveira (aluno de Física – UFBA). Construção de recursos didáticos para o ensino de lançamento de projéteis na superfície da terra. 1995 (PROLICEN UFBA).

(11) Geraldo de Jesus Santos (aluno de Física – UFBA). Cálculo do Multistep. 1995.

(12) Diógenes dos Santos (aluno de Física – UFBA). Física de compostos semicondutores – cálculo da corrente de tunelamento via o método do multistep. 1996 (CNPq).

(13) Ezequiel de Arimatéia Nascimento de Oliveira (aluno de Física – UFBA). Tunelamento em barreiras semicondutoras. 1996.

(14) Marcelo Sanches Rocha (aluno de Física – UFBA). Estudo de oscilações através de um pêndulo não-linear. 1996 (CNPq).

(15) Carlos Moysés Graça Araújo (aluno de Física – UFBA). Física de compostos semicondutores – método do Multistep. 1997 (CNPq).

(16) Fabrício Teixeira de Freitas (aluno de Engenharia Elétrica – UFBA). Novo modelo para o cálculo da Corrente de Tunelamento (1-D) em STM. 2000 (FAPESB).

(17) Ana Carolina Vasconcelos Cardoso (aluna de Física – UFBA). Tunelamento Quântico – Multistep. 2001 (FAPESB).

(18) Fabrício Teixeira de Freitas (aluno de Engenharia Mecânica – UFBA). Estudo de Imagens STM. 2001 (CNPq).

(19) Ana Carolina Vasconcelos Cardoso (aluna de Física – UFBA). Simulação de Imagens do tipo STM II – Cálculo da Corrente de Tunelamento. 2002 (FAPESB).

(20) Eduardo dos Reis Correia (aluno de Engenharia Elétrica – UFBA). Cálculos de Estruturas em Superfície – Leed. 2002.

(21) Fabrício Teixeira de Freitas (aluno de Engenharia Elétrica – UFBA). Simulação de Imagens do tipo STM – I. 2002 (CNPq).

(22) Ricardo Cerqueira Perreira (aluno de Física – UFBA). Aplicação do Mathematica – Potencial Químico. 2002.

ANTÔNIO SÉRGIO CAVALCANTE ESPERIDIÃO
Um Testemunho

Caio Mário Castro de Castilho (caio@ufba.br)
Grupo de Física de Superfícies e Materiais, Instituto de Física
Universidade Federal da Bahia

Antônio Sérgio Cavalcante Esperidião, Professor do Instituto de Física da Universidade Federal da Bahia, faleceu em 29 de agosto de 2005, vítima de acidente cardiovascular. As suas características pessoais, de generosidade, de alegria, de espontaneidade e, rara entre muitos, de profundo desejo de crescimento para todos os que o circundavam, no sentido mais amplo possível, resultaram na merecida iniciativa do Instituto de Física da Universidade Federal da Bahia, no sentido de prestar-lhe uma homenagem. A mim coube, por ter sido próximo de Sérgio, uma tarefa singularmente difícil: traçar seu perfil, quiçá um arremedo, de biografia. E o arremedo segue, talvez, com a dimensão do biógrafo, sem a grandeza e a singularidade do biografado! Espero que, como disse o poeta, sucesso tenha, "se a tanto me ajudar o engenho e a arte".

Sérgio nasceu em Salvador, Bahia, em 28 de dezembro de 1952, segundo filho de Antônio Esperidião e Terezinha Cavalcante Esperidião. Além de Sérgio, o casal teve, como filhos biológicos, Vera, Tânia, Paulo, Alfredo e Ana Julia, tendo adotado ainda José Henrique, Thiago e Jorge. A generosidade demonstrada na disponibilidade para adoção, mormente que filhos do casal havia, e não poucos, inevitavelmente conduz a um reconhecimento de grandeza singular! Sérgio foi uma criança de comportamento moderado, desde cedo cônscio das suas "responsabilidades": sentia-se o "homem da casa", quando das viagens do pai. Sempre dedicado aos estudos, cursou o primário e o ginásio no Colégio Antônio Calmon (bairro de Baixa de Quintas), mais conhecido como a "Escola de D. Vivi e do Dr. Edgar". Passou, posteriormente, à Escola Pública, tendo estudado no Colégio Anísio Teixeira, no bairro da Caixa D'Água. Concomitantemente ao Anísio Teixeira, estudou

na Escola Técnica Federal da Bahia (atual CEFET), onde concluiu o curso de Edificações.

A família Esperidião residia, inicialmente, na área então conhecida como "Sertanejo", próxima ao que hoje é a Rótula do Abacaxi, tendo posteriormente se mudado para o bairro da Cidade Nova. Na sua adolescência, Sérgio fez parte de uma "turma da Cidade Nova", típica tribo de jovens, então muito comum em vários bairros de Salvador, onde uma das mais "graves" infrações, talvez uma "obrigação", era a de tentar impedir que rapazes, residentes em outros locais da cidade, namorassem as garotas do bairro.

Casou-se em 7 de fevereiro de 1976, aos 23 anos, com Maria Cecília R. L. de Azevedo, tendo inicialmente residido na casa dos pais dele, que haviam construído para o novo casal um "puxadinho", i. e., um pequeno apartamento ao fundo da casa principal. A sua usual diligência e envolvimento com as "soluções práticas" resultou em que, de tanto carregar gelo para a festa do casamento, fosse acometido de uma pneumonia, constatada quando o casal voltou da "lua de mel". Do casamento com Cecília, vieram a nascer Sérgio Andrei (1976), Monique (1978) e Milena (1980), indicando, os números entre parênteses, a data de nascimento dos filhos.

Ingressou no Curso de Física da Universidade Federal da Bahia em 1973. Ainda estudante, começou a lecionar em colégios da cidade do Salvador, inicialmente no Colégio Sofia Costa Pinto e, posteriormente, no Instituto Isaías Alves (ICEIA), no Instituto Social da Bahia, no Colégio Marista, no Colégio Antônio Vieira e no curso pré-vestibular União de Cursos da Bahia (UCBA). Envolveu-se, em alguns momentos muito intensamente, nas lutas do Sindicato de Professores. Vale observar que, à época, vivíamos uma ditadura militar, e o envolvimento com sindicatos e movimentos grevistas, não raramente, resultava em problemas que poderiam ir da demissão do emprego à prisão.

Sérgio concluiu a graduação no primeiro semestre de 1978 e, já em 1979, começou a lecionar no Instituto de Física na condição de Professor Colaborador. Esta categoria docente, semelhante em muitos pontos à do atual Professor Substituto, constituía vínculo precário, destinado a suprir carência docente em muitos Departamentos. Passou a Professor Assistente em 1981, já então no regime de Dedicação Exclusiva, pelo que deixou de

lecionar no curso secundário. Entre 1981 e 1985 fez o Mestrado em Física na UFBA, sob a orientação de Roberto Fernandes Silva Andrade. Foi o primeiro aluno de pós-graduação do Prof. Andrade, sendo o título da dissertação: "Aplicação do Método de Carleman ao Modelo de Hénon-Heiles". Vale observar que Sérgio realizou seu mestrado, simultaneamente ao vínculo docente e na mesma instituição, um fato muito comum àquela naquela época, em que o índice de docentes com mestrado e ou doutorado na UFBA era ainda incipiente. Desta sua dissertação de mestrado resultaram um trabalho apresentado na Latin American School of Physics e um artigo publicado no Journal of Mathematical Physics.

Em agosto de 1984, seguiu para a UNICAMP onde iniciou o doutorado sob a orientação de José Galvão Pisapia Ramos, que resultou em uma publicação em revista internacional. Dois anos depois, sem quebra de vínculo com Galvão, passou a trabalhar no grupo de Roberto Luzzi, tendo como orientadora formal a Profa. Áurea Rosas Vasconcellos, desenvolvendo uma atividade que o levou à obtenção do doutorado, cuja tese, defendida em 1991, teve como título: "Plasma Duplo Fora do Equilíbrio em Semicondutores Foto-Excitados". Diretamente relacionados ao trabalho de doutorado e à colaboração com o grupo de Luzzi, que continuou ainda por algum tempo, mesmo depois do seu retorno a Salvador, resultaram 15 publicações em revistas internacionais. Com seu retorno a Salvador, reassumiu as suas atividades docentes no Instituto de Física da UFBA e retomou a colaboração com Roberto Andrade na área de Física Estatística, quando identificamos uma publicação em 1995 e alguns trabalhos em congressos.

No ano de 1992, iniciou uma colaboração com Klaus Weltner, Paulo Miranda e Roberto Andrade na área de Ensino de Física, da qual resultaram, pelo menos, 17 publicações na área. Na verdade, desde essa época, Sérgio manteve-se sempre, em maior ou menor grau, envolvido com a atividade de Ensino de Física. Além de colaborar com docentes do segundo grau que o procuravam, envolveu-se fortemente na aquisição de equipamentos para a modernização dos laboratórios de ensino do Departamento de Física Geral, e apoiou, efetiva e ativamente, as iniciativas de P. Miranda e K. Weltner no Laboratório de Projetos e Modelos, posteriormente assumindo esta disciplina por vários semestres. Envolveu-se com o Mestrado de Ensino, História e Filosofia das Ciências, programa de PG do qual sempre foi entusiasta e ao qual formalmente, se vinculou.

A partir de 1998, começou a interessar-se pela área de Física de Superfícies. Em nossas muitas, freqüentes, longas e, claro, etílicas conversas, procurei incentivá-lo a passar um período no exterior, considerando que tanto o seu mestrado quanto o seu doutorado tinham sido realizados no Brasil e uma experiência fora, mesmo com naturais dificuldades, resultaria positiva. Creio que em parte por isto e, em parte, por trocas de mensagens com o nosso amigo comum, Edmar Avellar Soares, entre 1999 e 2000, Sérgio realizou estágio de pós-doutorado no Lawrence Berkeley National Laboratory, University of California – Berkeley, junto ao grupo liderado por Michel Van Hove.

A partir de 2001, juntamente com Fernando Mota e Caio Castilho, iniciou um embrião para formar um Grupo de Pesquisa em Física de Superfícies, hoje já com alguns poucos resultados, dificultados pela impossibilidade de realização de concurso na área, a despeito de algumas tentativas. No grupo de pesquisa, Sérgio sempre foi visto pelos estudantes como "o coração do grupo", aquele que mais se preocupava com aspectos pessoais ou dificuldades pelas quais, eventualmente, um estudante poderia passar. Merece registro a sua constante preocupação em identificar, no Instituto de Física, estudantes com aptidão ou interesse pela pesquisa. Na área específica de Física de Superfícies, publicou 3 trabalhos.

Sérgio teve 21 estudantes de Iniciação Científica entre 1993 e 2005 e 2 estudantes formais de mestrado: Marcus Vinícius Teixeira Navarro, cuja dissertação, "Formação de Estruturas Dissipativas em Semicondutores Excitados por uma Fonte de Largo Espectro", foi concluída em 1999; e Sérgio Figueiredo Borges, que apresentou, em 2005, a dissertação "Elaboração de Recursos Didáticos Experimentais Utilizando Materiais de Fácil Acesso, numa Perspectiva Construtivista".

A sua constante disponibilidade para com questões relativas a qualquer campo da Física o levou a estabelecer colaborações, digamos, inesperadas. Estabeleceu cooperação com Fernando Pena Gaspar Sobrinho, da Faculdade de Medicina (UFBA), que levou à publicação de um artigo que, pela aparente distância temática com a sua experiência anterior, vale mencionar: "Efeito de Lubrificantes sobre a Integridade da Sonda de Foley e Implicações no Tamponamento Nasal para Epistaxe", publicado na Revista Brasileira de Otorrinolaringologia, Brasil, v. 70, n. 3, p. 295-299, 2004.

Durante os anos de 2004 e 2005, envolveu-se, plena e intensamente, com divulgação científica e aumentou seu interesse na área de ensino de Física. Passou a interagir com a Secretaria Estadual de Ciência, Tecnologia e Informação e com a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia, na busca de recursos para a recuperação e o pleno funcionamento do Museu de Ciências. Obteve recursos financeiros junto ao CNPq e à Fundação Vitae para essas atividades. Este seu envolvimento o levou a, em quase todas as conversas, trazer a questão do museu à tona. No início de 2005, ele me disse: "Companheiro, este ano não conte muito comigo no Grupo de Superfícies, pois creio que as atividades no Museu vão me consumir bastante tempo". Faleceu justamente no exercício desta atividade!

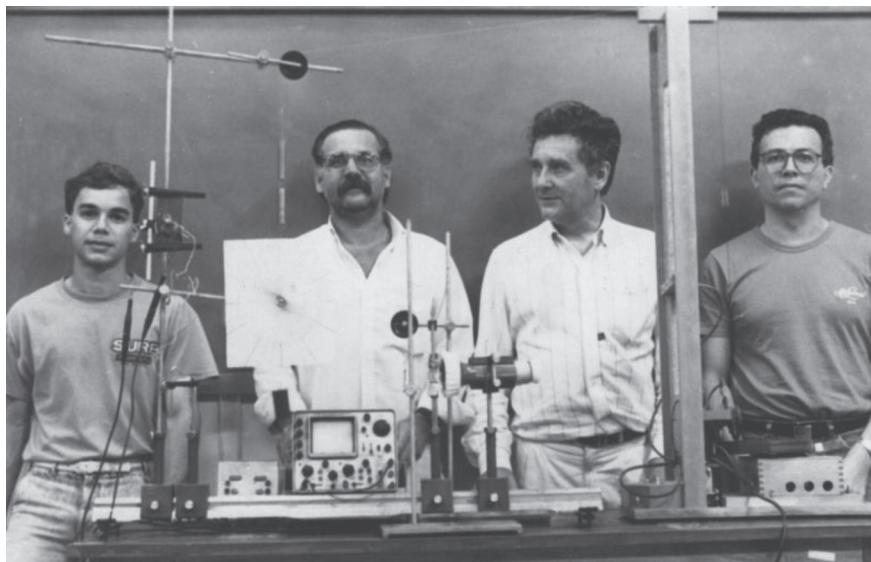
Foi Chefe de Departamento em três mandatos – o último inconcluso. Exercia com singular habilidade a chefia, buscando, com jeito e firmeza, atender a pleitos às vezes conflitantes, fossem solicitações de afastamento ou distribuição de encargos didáticos. Tinha, e isto ficava muito claro, a confiança dos seus chefiados, mesmo daqueles com os quais não comungava das mesmas opiniões acadêmicas.

Teve destacado papel na organização de dois eventos científicos, na área de Física, realizados em Salvador: o XIII Encontro de Físicos do Norte e Nordeste, em 1995, e o VIII Latin American Workshop on Nonlinear Phenomena, em 2003.

Foi homenageado por diversas turmas de alunos, tanto do Curso de Física como do Curso de Licenciatura em Ciências, tendo sido paraninfo da turma de Licenciatura e Bacharelado do Curso de Física, do primeiro semestre de 2004. E ele gostava dessas homenagens. Mostrava, com visível prazer, as placas oferecidas pelos estudantes, celebrando o justo reconhecimento. Um prazer, não só visível e facilmente perceptível, mas confesso. Sem contudo estar impregnado pela vaidade. A vaidade, de fato, era uma característica que passava bem distante do nosso colega. O nosso amigo deixou presença marcada pelo exercício diário do cultivar as amizades, de colegas funcionários e estudantes. E assim o fazia, com extrema naturalidade e profunda simplicidade.

A IMERSÃO DE CARLEMAN E SUA APLICAÇÃO AO MODELO DE HÉNON-HEILES

Roberto Fernandes Silva Andrade (randrade@ufba.br)
Instituto de Física da Universidade Federal da Bahia

Introdução

A dissertação de mestrado de Sérgio Esperidião foi desenvolvida entre os anos de 1982 e final de 1984, tendo sido defendida no início de 1985, quando ele já estava engajado em um programa de doutoramento na UNICAMP. O título da dissertação, "Aplicação do Método de Carleman ao Modelo de Hénon-Heiles", espelha de maneira correta o que foi feito neste trabalho.

Não tenho uma lembrança muito precisa sobre o momento em que o trabalho foi iniciado. Lembro, porém, que no primeiro e segundo semestres de 1982, Sérgio estava cumprindo disciplinas do mestrado, inclusive Física Estatística, que lecionei no segundo semestre de 1982. Assim, é muito provável que o trabalho de dissertação tenha se iniciado, efetivamente, no início de 1983.

Embora motivado inicialmente apenas pela aplicação de um método de tratamento de equações não lineares a um modelo bastante estudado à época, o trabalho teve resultados que ultrapassaram este objetivo inicial, já que foi percebida a geração de termos seculares em todas as ordens ímpares, o que de certo modo ia de encontro à noção que se tinha a partir de um resultado de Montroll e Helleman (1976). Assim, após a defesa da dissertação, foi possível ir além nesta análise, discutindo-se de maneira genérica a ocorrência de termos seculares durante a aplicação da imersão de Carleman a sistemas não lineares. Estes aspectos foram discutidos em um trabalho publicado, em 1986, no Journal of Mathematical Physics (Esperidião e Andrade, 1986).

Dividimos este trabalho em algumas seções para facilitar a sua leitura. Na Seção 2 discorremos sobre a motivação do trabalho e as questões que

buscamos responder. Na Seção 3 apresentamos um resumo dos resultados obtidos, com as principais ilustrações e passagens matemáticas mais elaboradas copiadas diretamente dos textos originais. Na Seção 4 listamos os trabalhos concluídos, com cópias das folhas iniciais, e citações recebidas na literatura.

Germano Guedes, Sérgio Esperidião, Klaus Weltner e Roberto Andrade, em 1992, no laboratório de FIS122.

Motivação do trabalho

O método da imersão de Carleman (ou Carleman embedding – CE) foi proposto por Carleman em 1932. O objetivo da proposta é converter um sistema finito de equações não lineares, contendo apenas termos polinomiais, em um sistema infinito de equações lineares. Assim, técnicas bastante conhecidas para tratar sistemas lineares poderiam ser aplicadas na análise do sistema transformação, apesar do fato de contarmos agora com um número infinito de equações.

Este método foi retomado nos anos 70, quando grandes progressos foram feitos no entendimento de sistemas caóticos determinísticos. Em 1980, eu havia estudado o modelo de Lorenz por este método, buscando entender como tal modelo descrevia a transição para o caos, como parte da minha tese de doutoramento. Neste caso, a transição está associada a um ponto

fixo estável que se torna instável, embora o atrator estranho se desenvolva mesmo antes do sistema entrar no regime caótico. Conseguimos estabelecer uma mudança fundamental no espectro da matriz infinita que descreve o sistema linearizado (Andrade e Rauh, 1981).

Assim, a motivação inicial da análise do sistema de Hénon-Heiles (HH) (Hénon e Heiles, 1964) pelo método CE era entender como este método detecta a transição para o caos neste modelo. Este modelo é Hamiltoniano, tendo sua energia e volume no espaço de fase conservado. Este fato contrasta com o modelo de Lorenz, que é não-Hamiltoniano e dissipativo, apresentando redução de volume no espaço de fase.

Dadas suas características, o modelo HH apresenta uma grande faixa de energia onde dois tipos de trajetórias co-existem: trajetórias caóticas e trajetórias em superfície de toros bidimensionais. As soluções aproximadas, obtidas por qualquer técnica, são bastante similares, para quaisquer valores de energia, não se permitindo perceber diferenças estruturais entre regimes caóticos e regulares. Por exemplo, no caso de formas normais, Gustavson (1966) obteve expressões similares, descrevendo trajetórias regulares em toros, para ambos os regimes. Assim, não é possível se saber, com antecedência, se uma dada solução aproximada irá descrever corretamente a trajetória do sistema que, neste caso, só pode ser obtida por métodos de integração numérica, tal como o de Runge-Kutta.

Resultados obtidos

Inicialmente escrevemos o sistema, de *m* equações, de uma forma bastante geral

$$\frac{d\mathbf{x}}{dt} = A\mathbf{x} + B\mathbf{x}^{[2]},$$

onde $\mathbf{x}$ é um vetor coluna de *m* componentes, $\mathbf{x}^{[2]} = \mathbf{x} \otimes \mathbf{x}$, com $\otimes$ indicando o produto de Kronecker entre vetores, e a ordem das matrizes $\boldsymbol{A}$ e $\boldsymbol{B}$ são $m \times m$ e $m \times m^2$.

Após procedermos com o CE, obtemos

$$\frac{d}{dt}\begin{pmatrix} \mathbf{x}^{[1]} \\ \mathbf{x}^{[2]} \\ \vdots \\ \mathbf{x}^{[N]} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A^1 & B^1 & 0 & 0 & \cdots \\ 0 & A^2 & B^2 & 0 & \cdots \\ 0 & 0 & \ddots & \ddots & \\ \vdots & \vdots & & A^N & B^N \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{x}^{[1]} \\ \mathbf{x}^{[2]} \\ \vdots \\ \mathbf{x}^{[N]} \end{pmatrix},$$

onde

$$\mathbf{x}^{[N]} = \mathbf{x}^{[N-1]} \otimes \mathbf{x}, \quad \mathbf{x}^{[1]} = \mathbf{x},$$
$$A^N = A^1 \otimes I^{N-1} + I^1 \otimes A^{N-1}, \quad A^1 = A,$$
$$B^N = B^1 \otimes I^{N-1} + I^1 \otimes B^{N-1}, \quad B^1 = B,$$

e I^N indica a matriz identidade de ordem m^N . A equação matricial pode ser escrita em uma notação simplificada como:

$$\frac{d}{dt} X = MX.$$

Para tal sistema buscamos soluções na forma

$$X(t) = \exp(Mt)\, X(0) = T \exp(\tilde{M}t) T^{-1} X(0),$$

de acordo com a solução geral de equações diferenciais lineares.

O cálculo de cada elemento de matriz do operador de evolução temporal **exp(*Mt*)** nos leva a

$$(e^{Mt})^{1,K}_{l_0,l_K} = \sum_{l_0,\dots,l_{K-1}} \prod_{N=1}^{K-1} B^{N+1}_{l_N,l_{N+1}} \times \sum_{M=0}^{K} (e^{A^{M+1}t})_{l_M} \prod_{N=0}^{K} \frac{1-\delta_{N,M}}{A^{M+1}_{l_M} - A^{N+1}_{l_N}}$$

onde, no caso em que ***M=N***, obtemos

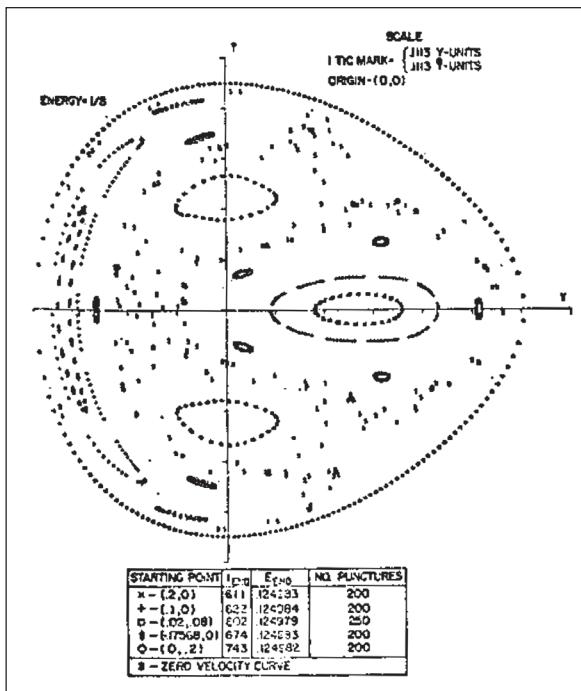
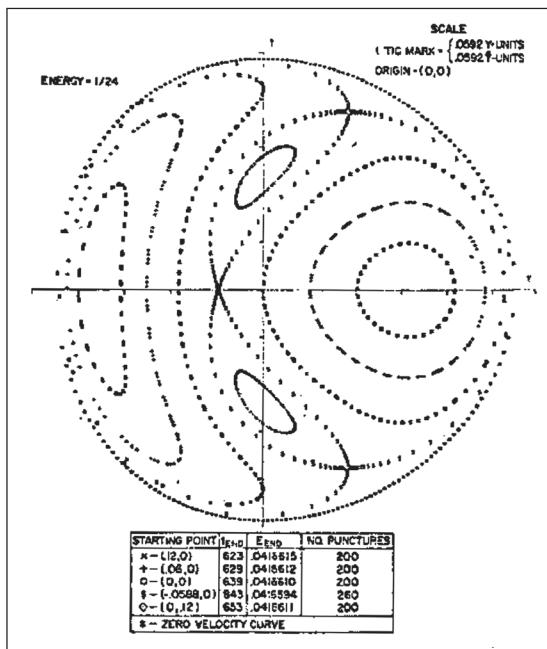
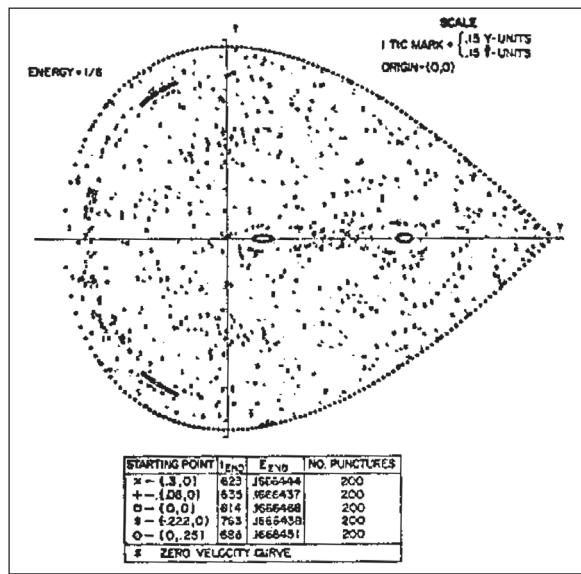
$$\lim_{M \to N} \frac{1-\delta_{N,M}}{A^{M+1}_{l_M} - A^{N+1}_{l_N}} = 1.$$

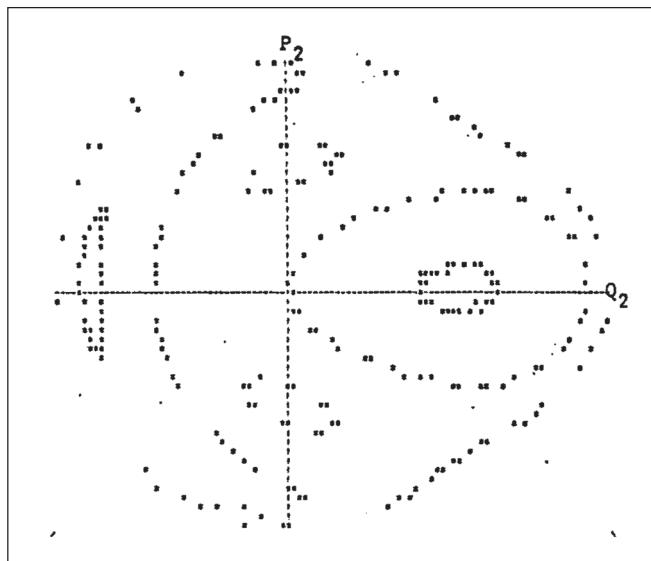
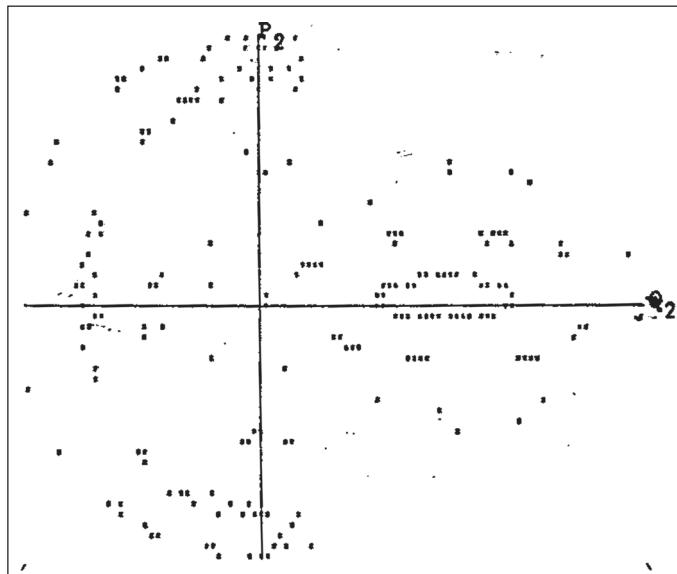
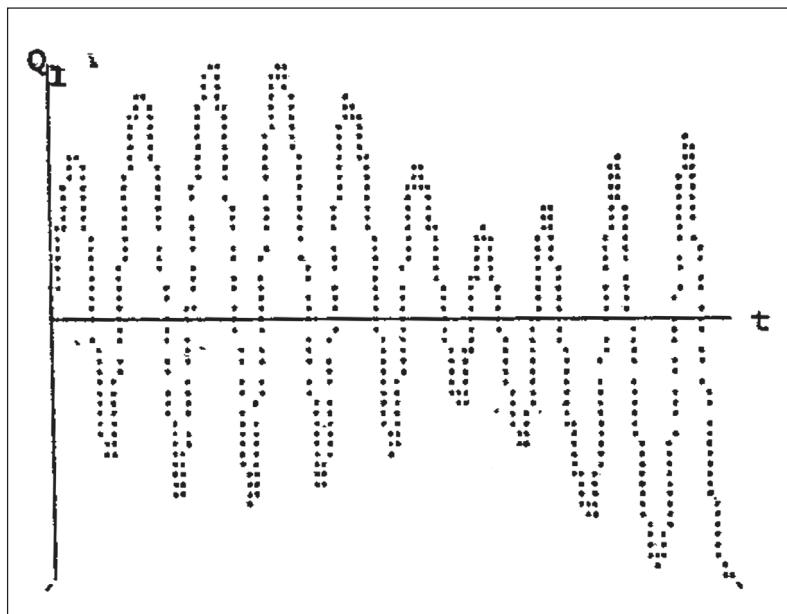
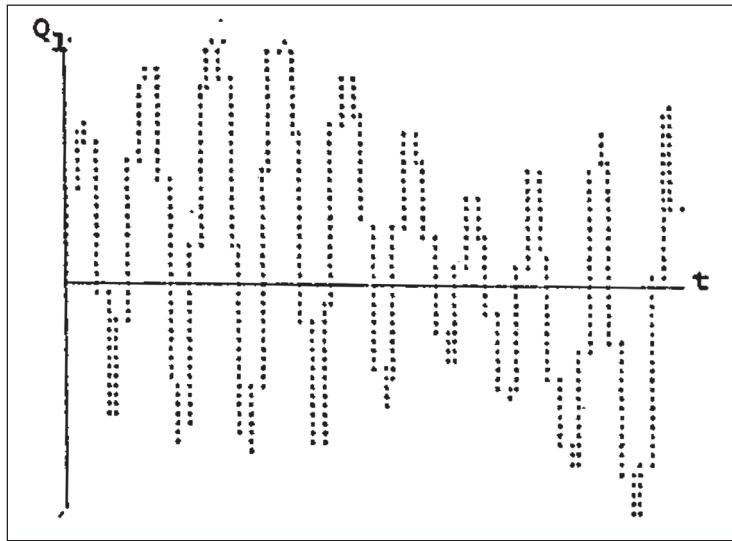
São justamente os termos para os quais ***M=N*** que podem dar origem, na expressão acima, a termos seculares, i.e., termos do tipo t^s, que crescem de maneira constante no tempo.

Os cálculos detalhados mostram que termos seculares podem estar presentes em soluções aproximadas de ordem maior que 1, desde que o espectro da matriz ***A*** seja degenerado. Podemos escrever a expressão genérica destes termos, em função dos autovalores a_n de ***A***, da seguinte forma:

$$Q_0^q = e^{a_0 t} \sum_{n=q+1}^{K} \frac{1}{a_0 - a_n} \sum_{s=0}^{q} \frac{t^s}{s!}$$
$$\times \sum_{\substack{n_1,\ldots,n_{q-s}=q+1 \\ n_1>\cdots>n_{q-s}}} \prod_{\alpha=1}^{q-s} \frac{1}{a_{n_\alpha} - a_0}.$$

Este resultado contrasta com predições de Montroll e Helleman (1976), que proclamaram a ausência de termos seculares no CE. No entanto, uma leitura crítica deste artigo revela que a ausência de termos seculares não é devida ao CE, mas a uma renormalização da freqüência que é feita concomitantemente com o CE. Expansões similares podem ser feitas sem qualquer conexão com CE.

O entendimento obtido a partir da dissertação de Sérgio Esperidião é fundamental para se prever o tipo de termos que podem aparecer na solução aproximada pelo método CE puro, sem aproximações adicionais extras como no artigo citado. Com isto, temos um maior entendimento dos limites do método, particularmente com relação à ocorrência de termos seculares, mesmo se queremos que eles não apareçam.

Vale salientar ainda que, também neste trabalho, Sérgio Esperidião mostrou a viabilidade de se aplicar o método CE a intervalos curtos de tempo, conforme proposto anteriormente, desenvolvendo uma estratégia similar a rotinas de integração numérica. Neste caso, a integração a longos intervalos de tempo é decomposta em uma sucessão de evoluções passo a passo, equivalente a rotinas tipo Runge-Kutta.

Em seguida apresentamos resultados diretamente relacionados com o modelo HH, que é descrito pelo seguinte Hamiltoniano:

$$H(q_1,q_2,p_1,p_2) = \tfrac{1}{2}(p_1^2 + p_2^2 + q_1^2 + q_2^2) + q_1^2 q_2 - q_2^3/3.$$

Ele representa dois osciladores idênticos, acoplados por termos cúbicos, que dão origem a termos quadráticos nas equações do movimento. Logo ele pertence à classe de modelos descrita acima. Quando a energia E é pequena (e.g., 1/12), as trajetórias são regulares, já que a influência dos termos não lineares é pequena. À medida que E cresce, as trajetórias sofrem uma maior influência dos termos lineares, que levam a uma destruição dos toros originais. Isto é ilustrado pelas figuras abaixo, do trabalho

original, que mostram seções de Poincaré do espaço de fase, para energias E =1/12, 1/8 e 1/6.

Estas figuras originais foram reproduzidas na dissertação de Sérgio, conforme mostrado abaixo, a partir da aplicação do CE passo a passo. A baixa qualidade das figuras apresentadas reflete os parcos recursos computacionais que estavam ao alcance do IF-UFBA em 1982, sem mesmo um traçador gráfico. Assim foi necessário utilizar uma rotina de protocolo de textos para traçar as figuras abaixo, respectivamente para E=1/12 e 1/8, quando já se nota a destruição de diversos toros.

Duas outras figuras mostram, a seguir, a comparação da evolução de uma das coordenadas com relação ao tempo, utilizando-se dois tipos de programas em Fortran. O primeiro faz uso de uma rotina Runge Kutta comum, e o segundo é baseado na evolução em tempos curtos do CE.

Finalmente apresentamos, para uma das variáveis do modelo, a expressão das trajetórias aproximadas, em duas ordens ***N* = *2*** e ***3***. A primeira não apresenta termos seculares, que só aparecem quando ***N* = *3*.** Mostramos também a evolução temporal da mesma componente usada nas figuras anteriores. Por comparação nota-se facilmente a influência dos termos seculares, refletidos na crescente amplitude de oscilação.

$$
\begin{aligned}
q_1^{(1)}(t) = q_1^{(0)}(t) &+ \left(\tfrac{2}{3}\, q_1^0 q_2^0 + \tfrac{4}{3}\, p_1^0\, p_2^0\right)\cos t \\
&- \tfrac{2}{3}\left(p_1^0 q_2^0 + p_2^0 q_1^0\right)\sin t + \tfrac{1}{3}\left(q_1^0 q_2^0 - p_1^0\, p_2^0\right)\cos 2t \\
&+ \tfrac{1}{3}\left(p_1^0\, q_2^0 + q_1^0\, p_2^0\right)\sin 2t - \left(q_1^0 q_2^0 + p_1^0\, p_2^0\right),
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
q_1^{(2)}(t) = q_1^{(1)}(t) &+ \tfrac{1}{48}\left(q_1^{03} - 3q_1^0\, p_1^{02}\right)\cos 3t \\
&+ \tfrac{1}{9}\left(q_1^{03} + 4q_1^0\, p_1^{02}\right)\cos 2t \\
&+ \tfrac{1}{144}\left(29q_1^{03} - 55q_1^0\, p_1^{02}\right)\cos t \\
&- \; q_1^{03}/3 \; + \tfrac{5}{12}\left(q_1^{03} + q_1^0\, p_1^{02}\right)t \sin t \\
&+ \tfrac{1}{48}\left(3p_1^0 q_1^{02} - p_1^{03}\right)\sin 3t \\
&+ \tfrac{1}{9}\left(2p_1^{03} - p_1^0 q_1^{02}\right)\sin 2t \\
&+ \tfrac{1}{144}\left(5p_1^{03} + 65p_1^0 q_1^{02}\right)\sin t \\
&- \tfrac{5}{12}\left(p_1^{03} + p_1^0 q_1^{02}\right)t \cos t.
\end{aligned}
$$

Divulgação dos trabalhos

Foram apresentados os seguintes trabalhos em congressos regionais e nacionais:

Aplicação do Método de Carleman ao Modelo de Hénon-Heiles – 1º Encontro de Físicos do Nordeste – 1983 – Natal.

Aplicação do Método de Carleman ao Modelo de Hénon-Heiles – 36ª Reunião Anual da SBPC – 1984 – São Paulo.

Foram publicados os seguintes trabalhos:

A. S. C. Esperidião e R. F. S. Andrade, 1984, Some reports about Carleman embedding. Proceedings of Latin American School of Physics.

A. S. C. Esperidião e R. F. S. Andrade, 1986, Occurrence of secular terms in the Carleman embedding. Journal of Mathematical Physics, volume 27, 66-70.

Este último trabalho recebeu 5 citações, nos trabalhos abaixo indicados:

K. Kowalski, 1987, Hilbert-space description of classical dynamic-systems, Physica A, volume 145, 408-424.

W. H. Steeb, 1989, A note on Carleman linearization, Physics Letters A, volume 140, 336-338.

K. Kowalski e W. H. Steeb, 1991, Nonlinear Dynamical Systems and Carleman Linearization, World Scientific Publishing Co., Singapore.

S. Belghith, 1999, Symbolic and numerical analysis for studying complex nonlinear behavior, Numerical Algorithms, volume 20, 51-61.

B. W. Gaude, 2001, Solving Nonlinear Aeronautical Problems Using the Carleman Linearization Method, SAND REPORT 2001-3064, September 2001.

APLICAÇÃO DO MÉTODO DE CARLEMAN

AO

MODELO HENON - HEILES

por

ANTONIO SÉRGIO CAVALCANTE ESPERIDIÃO

Bacharel em Física, Instituto de Fí
sica da UFBA, 1978.

DISSERTAÇÃO

Submetida em satisfação parcial dos requisitos
de Grau de Mestre em Ciências Naturais - Física

À CÂMARA DE ENSINO DE PÓS GRADUAÇÃO E PESQUISA
DA UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA.

Professor Orientador:

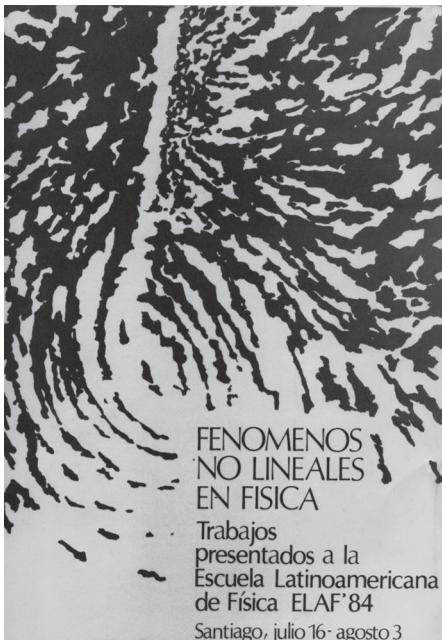
Dr. ROBERTO FERNANDES SILVA ANDRADE

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA

CURSO DE MESTRADO EM FÍSICA

Salvador - Bahia - 1984

Folha de rosto da dissertação de mestrado

RESUMO

O método de Imersão Linear de Carleman foi usado para investigar o sistema autônomo de equações diferenciais não lineares do modelo de Henon-Heiles.

Inicialmente provamos que, a solução obtida com esse método é equivalente a solução obtida via série de Taylor. Mostramos ainda que o erro introduzido para um truncamento de ordem S é proporcional a t^S.

Obtivemos aproximações analíticas para as equações do movimento do modelo, a partir dos truncamentos de ordem dois e três. Para a ordem três verificamos que surgem termos seculares os quais quebram a periodicidade observada na ordem dois. Expandimos também o método para ordem cinco do ponto de vista da estrutura matricial. E esperamos obter para ordem maior do que três termos seculares do tipo t^k.sen (nt) e t^k.cos (nt).

Desenvolvemos um esquema de integração iterativo baseado no método de Carleman que nos permitiu comparar nossos resultados com os obtidos por Henon-Heiles através do método de integração de Runge-Kutta e conseguimos reproduzir com sucesso esses resultados. Isto prova que o mètodo desenvolvido pode ser aplicado a um sistema de equações diferenciais não lineares do tipo das do Henon-Heiles.

Resumo da dissertação

1

SOME REPORTS ABOUT CARLEMAN EMBEDDING

by

R.F.S. Andrade and A.S.C. Esperidião
Instituto de Física - Universidade Federal da Bahia
40000 - Salvador - Bahia - BRAZIL

a) The linear embedding was first proposed by Carleman in 1932(1) and only 1975 Montroll(2) called the attention to it again. Since then several works have been published on this subject(3-6). In this communication we briefly report on a formal result concerning the equivalence of Taylor series and Carleman Embedding (C.E.) solution, and on results for low dimensional non-linear systems which were obtained using this method togethr with computing facilities.

The very simple idea of C.E. is to consider each non linear term in the r.h.s. of the differential equations as an independent variable and to write down its corresponding equation of motion. For the simplest non linear system (quadratic non linearities and constant coefficients) of the form

$$\frac{dx}{dt} = Ax + Bx^{[2]} \qquad (1)$$

we get the following infinite set of linear equation:

$$\frac{d}{dt}\begin{pmatrix} x^{[1]} \\ x^{[2]} \\ x^{[3]} \\ \vdots \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_1 & B_1 & 0 & 0 & \cdot & \cdot \\ 0 & A_2 & B_2 & 0 & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & A_3 & B_3 & \cdot & \cdot \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x^{[1]} \\ x^{[2]} \\ x^{[3]} \\ \vdots \end{pmatrix} \qquad (2)$$

where

$x^{[n]} = x^{[n-1]} \otimes x$, $A_n = A \otimes I^{[n-1]} + I \otimes A_{n-1}$, $B_n = B \otimes I^{[n-1]} + I \otimes B_{n-1}$, $I^{[n]} = I^{[n-1]} \otimes I$, $A_1 = A$, $B_1 = B$, and $\otimes$ notes the Kronecker product between vectors and matrices(10). x is a k-dimensional vector, and A and B are respectively k x k and k x k^2 constant matrices. In short hand notation (2) will be written as

$$\dot{X} = M X \qquad (3)$$

where X and M are the infinite vector and matrix in (2). Its solution is obviously

$$X(t) = \exp(Mt)\ X(0) \qquad (4)$$

Capa dos Proceedings e folha de rosto do primeiro artigo

Occurrence of secular terms in the Carleman embedding

A. S. C. Esperidião and R. F. S. Andrade
Instituto de Física, Universidade Federal da Bahia, 40000-Salvador, Brazil

(Received 18 October 1984; accepted for publication 28 August 1985)

Secular terms occur in many perturbative solutions of nonlinear equation systems. In this work, an investigation is made of which cases they may occur in as the result of the application of the linear Carleman embedding to a system of nonlinear equations. The solution for the embedded system is written in a form that makes it convenient to see how these terms originate. Their occurrence for the general case is discussed and the results are exemplified by working out the Hénon–Heiles system.

Folha de rosto do segundo artigo

Referências

Andrade, R. F. S., and Rauh, A., 1981, The Lorenz model and the method of Carleman embedding , Physics Letters A, volume 82, 276-278.

Carleman, T., Application de la théorie dés équations intégrales linéaires aux systémes d'équations différentielles non linéaires, Acta Mathematica, volume 59, 63-87.

Esperidião, A. S. C., and Andrade, R. F. S., 1986, Occurrence of secular terms in the Carleman embedding. Journal of Mathematical Physics, volume 27, 66-70.

Gustavson, F. G., 1966, On constructing formal integrals of a Hamiltonian system near an equilibrium point, Astronomical Journal, volume 71, 670-686.

Hénon, M., and Heiles, C., 1964, The applicability of the third integral of motion: some numerical experiments, Astronomical Journal, volume 69, 73-79.

Montroll, E. W., and Helleman, R. G. H., 1976, On a nonlinear perturbation theory without secular terms. II. Carleman embedding of nonlinear equations in an infinite set of linear ones. Topics in Statistical Mechanics and Biophysics, American Institute of Physics Conference Proceedings, volume 27, 75.

SÉRGIO ESPERIDIÃO NA UNICAMP

Áurea Rosas Vasconcellos (aurea@ifi.unicamp.br) e
Roberto Luzzi (rlgmesd@ifi.unicamp.br)
Instituto de Física Gleb Wataghin
Universidade Estadual de Campinas

A Comunidade de Físicos perdeu Sérgio enquanto jovem, intelectual e cientificamente ativo. Queremos aqui apresentar uma modesta, mas afetiva homenagem à sua memória, relembrando sua passagem junto ao nosso Grupo, aqui no IFGW-UNICAMP. Na ocasião ele desenvolveu, com muita dedicação e competência, seu trabalho de tese de doutoramento, que com o título "Plasma Não-Equilibrado em Matéria Condensada", foi defendida e aprovada em fevereiro de 1991.

Dessa época é interessante mencionar uma anedota instrutiva, que vez por outra, comentamos com nossos estudantes. Durante o desenvolvimento da tese, tínhamos constante contato com Sérgio para discussões sobre o andamento do trabalho. Um dia ele nos mostra uma figura onde, nos dizia, tinha detectado uma linha inesperada no aspecto Raman de portadores (plasma duplo de elétrons e buracos) fotoinjetados em GaAs. Na época a computação não tinha a precisão de hoje em dia, e assim brincávamos com Sérgio de que o computador tinha inventado a "linha de Sérgio". Isto é, achávamos que era simplesmente um "espirro" do computador. Porém, Sérgio refez o trabalho várias vezes e insistiu com veemência de que a linha era "de verdade". Tinha razão: ele nos convenceu a concentrarmo-nos nela, e conseguimos "desenterrar" alguns velhos artigos (especialmente um primeiro de David Pires no Com. J. Phys. com os Proceedings de uma Conferência), identificando a tal linha como devida ao espalhamento por plasmons acústicos. No plasma duplo têm-se excitações elementares aos pares: o contínuo de excitações individuais de elétrons e o de buracos, e dois tipos de plasma, um dito óptico (de altas freqüências e associado ao movimento da coordenada reduzida de pares

de elétron-buraco) e o dito acústico (de baixas freqüências e associado ao movimento da coordenada de centro de massa dos pares elétron-buraco).

Vale a pena destacar que, na mencionada Conferência, a apresentação de David Pires seguiu-se de discussões registradas nos Proceedings, e o famoso Richard Feynman comentou que tal comportamento não podia ocorrer no caso de equilíbrio porque os pares elétron-buraco estariam recombinados. Tinha razão, porém na época não estavam desenvolvidos os experimentos de "pump-probe" e com resolução temporal ultra-rápida (pico e femto segundos) em semicondutores fora do equilíbrio. Assim, elétrons e buracos podem coexistir por tempos menores que, é claro, o tempo de recombinação (algo nas dezenas de nanosegundos) ou podem ser mantidos por excitações de um laser contínuo. Quando isso foi possível, foram detectados experimentalmente.

Da tese de Sérgio resultaram 13 publicações listadas a seguir:

- **Photinjected-Carrier's Acoustic Plasma Oscillation,** publicado em Proc. 6th Int. Conf. on Hot Corriers, Solid State Electronics **32**, 1225 (1989), e
- **Acoustic-Plasmon Branches in Photoexcited Semiconductors,** publicado em Solid State Communications **73**, 275 (1990).

As duas se relacionam, e é onde se discute a questão dos plasmons acústicos no plasma duplo fora do equilíbrio.

- **Steady-state Polarization Waves in Photoexcited N-doped Semiconductors,** publicado em Solid State Communications **74**, 889 (1990).

Nesta publicação se discute outro achado ligado à tese de Sérgio que é a possível formação de ondas de polarização – um estado ligado no plasma duplo de elétrons e buracos.

- **Raman Scattering by Photoexcited Plasma in Semiconductors,** publicada nos Proc. XII Int. Conf. on Raman Scattering, J. R. Durig, Ed. (Wiley, New York, U.S.A., 1990).

Comunicação dos resultados da tese de Sérgio nesta Conferência especializada.

- **Condensation of Photoinjected Carriers in a Polarizable Non-Conducting Dissipative State,** publicado em Proc. 20th Conf. Phys. Semicond., E. Anastassakis and J.D. Janopoulos, Eds. (World Scientific, Singapore, 1990).

Nesta comunicação, na prestigiosa Conferência bianual de Física de Semicondutores, é apresentado outro achado da tese de Sérgio indicando

possível complexidade no diagrama de fases do "fluido" duplo de elétrons e buracos fotoinjetados.

- **Collective Behavior in a Plasma in Photoexcited Semiconductors,** publicado em Proc. 20th Int. Conf. Phys. Semicond. , E. Anastassakis and J.D. Janopoulos, Eds. (World Scientific, Singapore, 1990).

São reiteradas nesta prestigiosa Conferência as características estudadas do plasma duplo de elétrons e buracos fora do equilíbrio, que é publicado por extenso em:

- **Collective Behavior of Photoinjected Plasma in Semiconductors,** publicada em Physica Status Solid (b) **168**, 533 (1991).

Um tópico paralelo atacado por Sérgio resultou na publicação:

- **Chemical-Bond Approach to the Dielectric Constant of Semiconductors,** publicado em Physica Status Solid (b) **171**, 417 (1992).

Esta publicação foi colaboração de Sérgio com J.A. Brum e J.G. Ramos.

- **Coexistence of Conducting and Nonconducting Phases on the Metallic Side of Mott Transition in Photoexcited Semiconductors,** publicado em J. Physics and Chemistry of Solids **53**, 1111 (1992).

Apresentação estendida dos resultados comunicados na 20th Conf. Phys. Semicond., listada acima.

Também ligado aos resultados da tese, mas desenvolvidos a posteriori, temos:

- **Quasi-Hydrodynamic Description of Photoinjected Plasma in Semiconductor,** publicado em Proc. 21st Int. Conf. Phys. Semicond., X. Xide and K. Huang, Eds. (World Scientific, Singapore, 1993).

Comunicação nesta prestigiosa Conferência de um estudo do movimento hidrodinâmico (comportamento espacial e temporal das densidades de partículas e de energia e seus fluxos) no "fluido" duplo de elétrons e buracos.

- **Dissipative Steady-State Spatial Ordering in Photoexcited Polar Semiconductors,** publicado em International Journal of Modern Physics B **7**, 1157 (1993).

Derivado do trabalho anterior se identifica a possibilidade de comportamento complexo no estado estacionário do "fluido" de elétrons e buracos quando suficientemente afastado do equilíbrio, dando lugar a uma particular estrutura dissipativa à la Prigogine.

- **Damped Plasma Wave in Photoexcited Plasma in Semiconductors,** publicado em Physical Review B **52**, 5021 (1995).

Continuação dos estudos do plasma no sistema de elétrons e buracos fotoinjetados, analisando os processos de relaxação a que estão submetidos.

- **On the Formation of Dissipative Spatial Patterns of Charge Carriers in Biosystems,** publicado em Nuovo Cimento D **17**, 569 (1995).

Temos aqui uma "incursão" no terreno da Biofísica, aonde são levadas as idéias usadas no estudo de semicondutores, particularmente aquela da formação de uma estrutura, dissipativa a la Prigogine, aqui envolvendo pares elétron-buraco nos estados eletrônicos "bonding" e "antibonding" em biopolímeros formados por "dark excitation".

Esta descrição dá idéia do brilhante desempenho de Sérgio durante esse seu período de desenvolvimento da tese e logo depois, já de volta a Salvador nas últimas colaborações conosco. Em continuação. ele se destacou em outros temas, aos quais dedicou sua diligência e competência de sempre. Acrescentou a isso sua colaboração administrativa e de organização na UFBA, sempre preocupado em incrementar o prestígio da Universidade Brasileira, e do qual darão testemunho seus companheiros em Salvador.

A fatalidade tirou sua presença do nosso convívio, e ceifou as múltiplas possíveis diversas realizações que certamente teria realizado. Como dito no início, deixamos aqui uma modesta homenagem à memória de Sérgio.

PROFESSOR SÉRGIO ESPERIDIÃO E O ENSINO DA FÍSICA

Klaus Weltner (weltner@em.uni-frankfurt.de)
Universität Frankfurt e Instituto de Física, Universidade Federal da Bahia
Paulo Miranda (pmiranda@ufba.br)
Instituto de Física, Universidade Federal da Bahia

O Professor Sérgio Esperidião e os pêndulos não-lineares como introdução à Física não-linear.

Há quinze anos, assistimos, quase por acaso, a uma homenagem a Sérgio de um grupo de professores ajudados e orientados por ele. Tal fato coincide com a chegada de um de nós (Weltner) ao Instituto de Física da UFBA. Nessa época, ele estava terminando o seu doutorado. Estressado pelos esforços de término da tese, ele encontrou tempo para trabalhar voluntariamente com os professores do ensino médio. Isso mostrava, claramente, o valor que ele dava ao ensino. Nessa ocasião, ele propôs construir um pêndulo para mostrar a transição das oscilações para o caos. Foi o começo de um trabalho muito frutífero e de uma amizade entre nós.

Quando nós ponderávamos como melhor homenagear nosso colega e amigo Sérgio, foi o colega Saulo Carneiro quem deu a boa sugestão: mostrar um dos mais interessantes e importantes experimentos que Sérgio construiu para o ensino de Física, porque esse trabalho mostra, convincentemente, o valor dos seus esforços. Substituindo a apresentação, vamos descrevê-lo de forma breve.

Os pêndulos e, especialmente, o pêndulo gravitacional, têm um papel importante na evolução e no ensino da Física. Foi inicialmente Galileu que observou os lustres pendurados na Catedral de Pisa, quando eles oscilavam movimentados pelas lufadas de vento. Alguns oscilavam com grandes amplitudes, outros ficavam quase parados, oscilando levemente. Mas o

intervalo de tempo para completar uma oscilação era o mesmo, independentemente da amplitude. Esse fato tornou o pêndulo a ferramenta preferida para construir relógios, que ajudavam a navegação na época. Logo a Física concebeu calcular e explicar os movimentos dos pêndulos, aproximando a força restauradora por uma força linearmente proporcional ao deslocamento. As aproximações lineares dominavam na Física clássica devido às dificuldades enfrentadas na solução das equações não-lineares. No caso do pêndulo gravitacional, a aproximação linear da sua força restauradora restringiu a sua análise às pequenas oscilações. Para amplitudes maiores, as soluções somente serão encontradas mediante a resolução das integrais elípticas, devido à não-linearidade da força restauradora. Isso requer conhecimentos profundos de matemática. E, por isso, essas oscilações foram negligenciadas no ensino da Física nas escolas e nos cursos básicos da universidade.

A partir do surgimento dos computadores, aumentaram as possibilidades de tratar numericamente equações não-lineares. Em conseqüência disso, as pesquisas no campo dos fenômenos não-lineares avançaram muito rapidamente e continuam, mesmo hoje, em franco desenvolvimento. Uma vez que o ensino da Física deve, pelo menos, discutir os problemas e os resultados da Física contemporânea, a Física dos fenômenos não-lineares torna-se um tópico imprescindível. É um dos desafios para o ensino de hoje mostrar aos alunos como as relações não-lineares mudam os fenômenos e até geram novos fenômenos.

Professor Sérgio trabalhava teoricamente e com êxito com efeitos não-lineares. Pensando no ensino de Física, ele logo percebeu a necessidade de desenvolver experimentos para ajudar os alunos a entender a nova vertente da Física. No início, numa conversa, ele propôs mostrar a transição de uma oscilação de um pêndulo gravitacional para o regime de caos. Juntamente com os colegas Roberto Andrade e Germano Guedes, construímos um pêndulo gravitacional perturbado por uma força periódica. Conseguimos mostrar as oscilações no regime de caos. Mas, além disso, observamos um fenômeno com uma nova qualidade. Com a mesma força aplicada ao pêndulo, ele pode oscilar de dois modos bem diferentes. Um modo de oscilação está quase em fase com a força aplicada, sendo a amplitude pequena, e um outro tipo de oscilação está quase em antifase, mas com uma amplitude bem maior. Este é o fenômeno da bi-estabilidade. A demonstração desse efeito é muito nítida, principalmente

se forem usados dois pêndulos iguais, oscilando ao mesmo tempo em modos diferentes, utilizando a mesma força aplicada. Usando esse arranjo experimental, pode-se abrir um caminho para o ensino de Física a partir dos fenômenos conhecidos das oscilações harmônicas para tratar fenômenos outros devidos à não-linearidade da força restauradora. Esses trabalhos foram publicados em revistas nacionais e internacionais (vide referências).

Arranjo experimental

A Figura 1 mostra o nosso arranjo experimental. O pêndulo usado é um pêndulo rotacional, feito de uma haste leve que pode ser de madeira, de alumínio ou de acrílico (comprimento de 25 cm, massa de 50 gramas), montado num eixo (raio de bicicleta) e preso a um suporte que lhe permite girar. A força externa é gerada por um motor de pára-brisa, alimentado por uma bateria ou uma fonte experimental. A freqüência do motor é regulada por um potenciômetro. O valor da força é regulado pelo tamanho do braço da manivela.

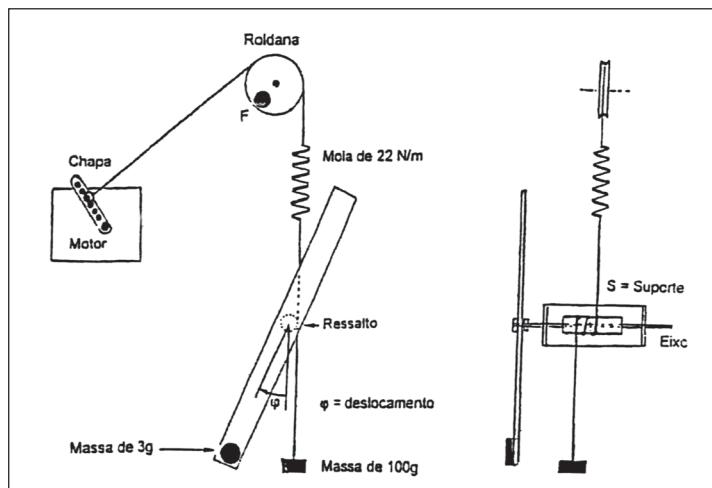



Figura 1. Esquema do arranjo experimental, ressaltando o motor e o pêndulo em sua configuração como pêndulo gravitacional, visto de frente e de perfil.

O acoplamento da força externa ao pêndulo é feito mediante o uso de um fio e uma mola. O eixo do pêndulo é aumentado, enrolando várias voltas de fita adesiva em torno dele ou aplicando um tubo de acrílico acima do raio (diâmetro 0,6 ou 0,8 cm). O fio faz duas voltas. Um peso (massa entre

50 e 100 gramas) no lado baixo proporciona uma tensão para o fio não deslizar. A construção deste experimento não requer muitos recursos e está ao alcance de professores do ensino médio e dos cursos básicos da universidade. Além disso, a construção é bem transparente e accessível para os alunos.

Oscilações forçadas de um pêndulo gravitacional dentro do regime linear.

Começamos com os experimentos bem estudados no ciclo básico do curso de Física. São as oscilações forçadas no regime linear. Restringimos, por isso, as amplitudes médias ou pequenas até 30 graus aproximadamente. A Figura 2 mostra a bem conhecida curva da ressonância. A amplitude em função da freqüência excitadora tem um máximo em torno da freqüência natural do pêndulo. A este máximo chama-se pico de ressonância, e a freqüência correspondente ao valor máximo da amplitude chama-se freqüência de ressonância.

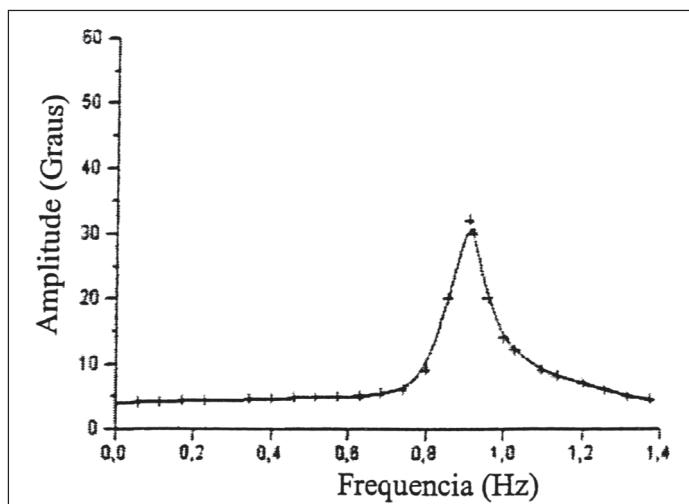



Figura 2. Curva da ressonância de um pêndulo gravitacional no regime linear.

Começando com condições iniciais diferentes, as oscilações atingem sempre os mesmos estados estáveis representados na Figura 2. Experimentalmente, se nós começamos a varredura das freqüências com freqüências pequenas ou freqüências grandes, o resultado não é modificado.

Oscilações forçadas de um pêndulo gravitacional fora do regime linear.

No início, aplicamos novamente a força restauradora de um pêndulo gravitacional, demonstrada na Figura 3.

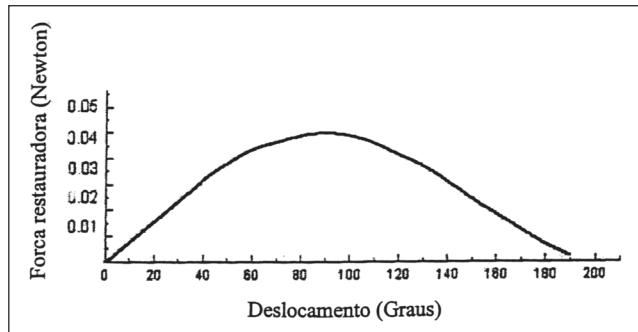



Figura 3. Força restauradora de um pêndulo gravitacional.

Na região dos deslocamentos pequenos (deslocamentos de menos de 30 graus aproximadamente), observa-se a região onde a força restauradora cresce aproximadamente linearmente proporcional ao deslocamento. Mas, fora desses deslocamentos, a força restauradora não cresce mais linearmente proporcional ao deslocamento, ela cresce menos e, afinal, diminui até desaparecer, quando o deslocamento atinge cento e oitenta graus. Já qualitativamente, podemos estabelecer o efeito dessa diminuição da força restauradora: o tempo de uma oscilação vai aumentar se a amplitude atingir valores maiores. A Figura 4 mostra os valores das amplitudes e das freqüências naturais correspondentes.

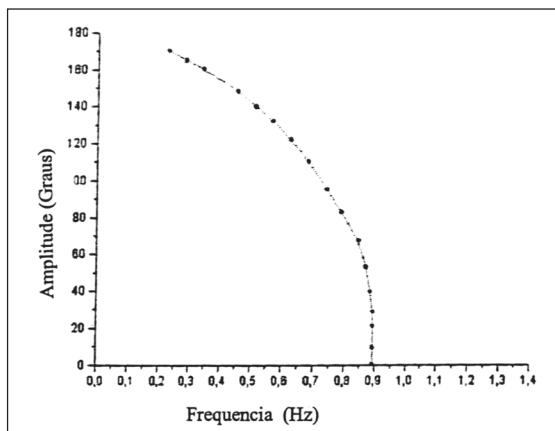



Figura 4. Amplitudes e freqüências naturais de um pêndulo gravitacional.

Então, vamos estudar as oscilações forçadas não-lineares. Para obter amplitudes maiores, aumentamos a manivela do motor. A varredura das freqüências foi iniciada a partir das freqüências baixas. A Figura 5 mostra os resultados. O trecho A da curva é bem parecido com o da curva na Figura 2 (a curva 2 pontilhada está abaixo da nova curva). Mas, numa certa freqüência f_{AB}, a amplitude passa bruscamente para um novo valor, bem mais alto. Continuando a nossa varredura das freqüências, as amplitudes diminuem como indicado no trecho B.

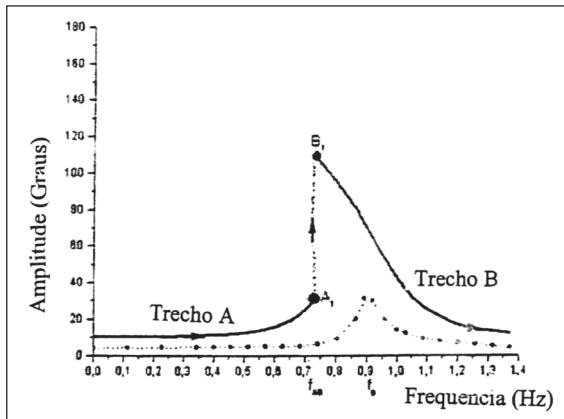



Figura 5. Oscilações forçadas de um pêndulo gravitacional. Varredura das freqüências começando com freqüências baixas.

Depois começamos a varredura das freqüências a partir das freqüências altas. Desta vez o resultado é diferente como mostra a Figura 6.

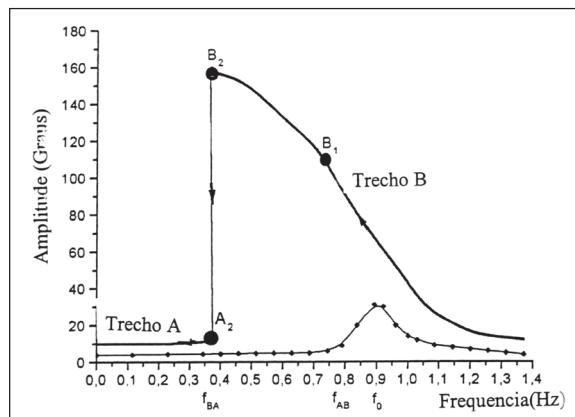



Figura 6. Oscilações forçadas de um pêndulo gravitacional. Varredura das freqüências a partir das freqüências altas.

No início, a curva segue o trecho B do experimento anterior. Mas, quando atingimos a freqüência f_{AB} onde tínhamos o salto da amplitude no experimento anterior, desta vez as oscilações ficam estáveis. E quando diminuímos, paulatinamente, a freqüência, as amplitudes ainda crescem. Só numa freqüência bem baixa f_{BA}, temos um novo salto da amplitude para baixo. Neste caso, a amplitude atinge o trecho A do experimento anterior.

Assim, encontramos dois tipos de curva da ressonância, a depender da direção da varredura da freqüência excitadora. Existem dois modos de oscilação entre as freqüências f_{AB} e f_{BA}, sendo ambas as oscilações estáveis; no entanto, as amplitudes e as fases são diferentes. O modo a ser realizado depende das condições iniciais. Se dois pêndulos iguais forem arranjados, cada um pode oscilar no seu modo, independentemente da oscilação do outro. É fascinante observar os dois modos simultaneamente. Este fenômeno é denominado bi-estabilidade. A bi-estabilidade é causada pela não-linearidade da força restauradora. Como já sabemos, a freqüência natural de um pêndulo gravitacional não é constante. A Figura 7 mostra as figuras anteriores juntas com a curva da freqüência natural do pêndulo gravitacional acrescida.

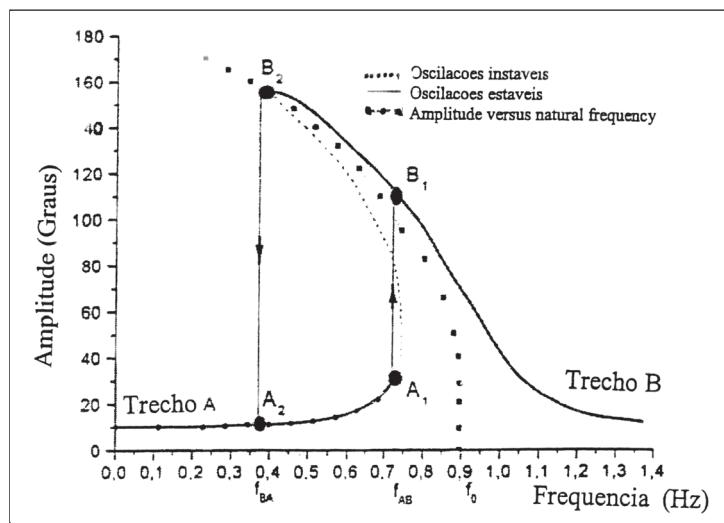



Figura 7. Curvas completas de ressonância.

A curva da ressonância sempre descreve o comportamento perto da freqüência natural. Os trechos A e B representam oscilações estáveis. O

trecho pontilhado representa oscilações instáveis. Entre as freqüências f_{AB} e $f_{BA,}$ temos dois modos estáveis, e a região da bi-estabilidade. Com este arranjo, podemos mostrar aos alunos, em sala de aula, como a não-linearidade dá origem a novos fenômenos. Além disso, esse arranjo pode ser estendido a outros tipos de forças restauradoras (vide referências).

O valor fundamental desta linha de arranjos é o seguinte: os experimentos começam com base em conceitos bem conhecidos e depois abrem um caminho para estudar efeitos oriundos da não-linearidade das relações. Assim, nossos alunos vêem que uma nova vertente da pesquisa moderna começa nos conteúdos bem conhecidos para, em seguida, pesquisar fenômenos novos e inesperados, além das limitações tradicionalmente estudadas.

O Professor Sérgio e o papel do físico na vertente de ensino

Já mostramos um exemplo da contribuição de um físico bem-sucedido como o Professor Sérgio para o ensino da Física. É a nossa convicção de que o ensino é uma tarefa importante e de que a formação dos licenciandos é fundamental para a qualidade do ensino nas escolas. Se perguntarmos à maioria dos meus colegas aqui, e também na Alemanha, vão concordar. Mas, infelizmente, na prática, tudo é bem diferente. São poucos os físicos bem-sucedidos na pesquisa que se dedicaram aos trabalhos para melhorar o ensino e a formação dos licenciandos. Há raras exceções como Albert Einstein e Leopold Infeld, autores do famoso livro "Evolução da Física", ou Stephen Hawking, com o livro "Uma Breve História do Tempo". Vale a pena lembrar um fato decisivo na evolução das universidades na Alemanha. No ano de 1806, a Prússia perdeu a guerra contra Napoleão. Nos anos seguintes, o Estado da Prússia foi reformado drasticamente, e Wilhelm von Humboldt fundou a universidade de Berlim para servir como núcleo da reforma do Estado. O lema dessa universidade foi escolhido e esclarecido por ele: "a unidade de pesquisa com o ensino". Para Humboldt, o pesquisador não deve livrar-se das tarefas do ensino, porque o ensino precisa das contribuições dos pesquisadores. A reforma foi um sucesso e serviu como molde para a evolução das universidades da Prússia e depois da Alemanha. Essa integração entre pesquisa e ensino deu certo e foi copiada mundialmente, mas, infelizmente, hoje em dia não é mais mantida

na sua essência. A pesquisa faz com que os cientistas deixem o ensino de lado. E, no ensino, faltam a influência e as contribuições dos cientistas. Mas o ensino precisa das contribuições dos cientistas. Um trabalho, como nós explicamos anteriormente, que só pode ser feito por cientistas que não somente amam, mas também conhecem a Física.

Professor Sérgio era teórico com trabalhos publicados em periódicos internacionais. Mas ele gostava, também, de experimentar e tomar conta dos laboratórios. Gostava de arrumar novos experimentos e incentivava os colegas a inventar e fazer novos arranjos experimentais. Ele sempre orientava os licenciandos. Assim, nos últimos anos, Sérgio tomava conta da disciplina "Projetos e Modelos", inicialmente proposta por um de nós (Paulo) e dedicada aos licenciandos para eles sentirem o melhor da Física.

A Física tem um lado lúdico. Preparar um experimento é sempre um desafio. A Física moderna nasceu há mais de quatrocentos anos; para uma ciência, a Física ainda é jovem. A Física nasceu do casamento entre "ação" e "raciocínio", entre experimentos e teorias. A Física para as crianças e os adolescentes nasce nos mesmos moldes: fazer experimentos e observações, e raciocinar. Experimentar tem um lado lúdico; montar um experimento é um desafio e pode dar até prazer. E, quando um experimento dá certo, é sempre uma satisfação enorme, seja um experimento feito por uma criança ou por um físico profissional.

Para deixar nascer a Física dentro dos nossos alunos e dos adolescentes, temos de deixá-los aprender a fazer a Física. E eles entendem como fazer a Física a partir do exemplo dos próprios professores A tarefa dos professores é transmitir dois itens: conhecimentos da Física e o espírito da Física e, se for possível, amor pela nossa ciência. Este espírito não se transmite só teoricamente. É o casamento de experimentar e raciocinar. E, por isso, o licenciando tem de aprender a fazer experimentos. Por essa razão, o ensino da Física precisa, urgentemente, dos físicos que sabem pesquisar e que gostam de montar e construir experimentos – preferencialmente em colaboração com os alunos. Professor Sérgio sabia disso, mas não só sabia. Ele agiu desta forma e mostrou aos licenciandos esse amor aos experimentos, quando ficou responsável pela disciplina "Projetos e Modelos".

Os nossos alunos, sejam eles daqui do Brasil ou da Alemanha, são iguais num quesito especial: não dão muito valor às nossas orientações orais,

eles preferem imitar os nossos comportamentos. Isso foi o que o Professor Sérgio fez, viveu como um físico e como professor. Assim, o melhor que um aluno dele pode fazer e aprender é agir, pensar e trabalhar como ele mesmo – é, simplesmente, seguir o seu exemplo.

Perdemos um colega muito prezado, perdemos um bom amigo. A única consolação é a consciência de termos tido um colega e um amigo como o Professor Sérgio Esperidião.

Bibliografia

Weltner, K., Esperidião, A. S. C., Andrade, R. F. S, and Guedes, G. P., 1994, Demonstrating different forms of the bent tuning curve with a mechanical oscillator. American Journal of Physics, volume 62, 56-59.

Weltner, K., Esperidião, A. S. C., e Andrade, R. F. S., 1995, Uma abordagem da física não-linear através de um oscilador mecânico. Revista Brasileira de Ensino de Física, volume 17, 11-20.

Esperidião, A. S. C., Weltner, K., Andrade, R. F. S. and Miranda, P., 2004, Introduction to the treatment of non-linear effects using a gravitational pendulum. Science and Education, volume 13, 613-630.

INTRODUÇÃO A TÉCNICAS DE DETERMINAÇÃO DA ESTRUTURA ATÔMICA DE SUPERFÍCIES ORDENADAS*

Caio Mário Castro de Castilho[1] (caio@ufba.br), Von Braun Nascimento[1] (vbnasci@yahoo.com.br), Edmar Avellar Soares[2] (edmar@fisica.ufmg.br), Antônio Sérgio Cavalcante Esperidião[1], Fernando Brito Mota[1] (fbmota@fis.ufba.br), Vagner Eustáquio de Carvalho[2] (vagner@fisica.ufmg.br)

[1] Grupo de Física de Superfícies e Materiais
Instituto de Física
Universidade Federal da Bahia

[2] Departamento de Física
Instituto de Ciências Exatas
Universidade Federal de Minas Gerais

Apresenta-se um breve histórico dos passos que levaram à demonstração de que o espalhamento de elétrons pode fornecer padrões de difração. Segue-se uma descrição dos procedimentos inerentes à difração de elétrons de baixa energia, técnica que hoje, rotineiramente, vem a ser a mais empregada na determinação de estruturas de superfícies em escala atômica. Alguns exemplos ilustrativos são também apresentados.

Na última década do século XIX e primeira do século XX, o elétron foi descoberto e surgiram algumas idéias inovadoras que resultaram em signiûcativa transformação nos conceitos fundamentais então vigentes relativos à Física. Neste conjunto é possível relacionar a hipótese de quantização da energia radiante, a interpretação do efeito fotoelétrico e associação onda-partícula. Estas idéias, um pouco mais tarde, culminaram com a confirmação do comportamento ondulatório que as partículas podem apresentar.

* Este texto faz parte do artigo completo publicado na Revista Brasileira de Ensino de Física, volume 27, número 4, páginas de 527 a 543, publicado em 2005, intitulado "Difração de elétrons de baixa energia (LEED) e a determinação da estrutura atômica de superfícies ordenadas".

No último ano século XIX, Max K. E. L. Planck (1858-1947) adotou a hipótese de que a energia radiante, ε, não varia continuamente como na Física Clássica, mas é quantizada em discretas quantidades que dependem da freqüência (ν) da radiação. Assim, a menor quantidade de energia associada à luz é o "quantum" de energia que pode ser expresso como:

$$\varepsilon = h\nu, \qquad (1)$$

onde h é a constante de Planck, cujo valor numérico é 6.626 x 10^{34} J.s. Esta hipótese, inicialmente formulada de modo "ad hoc" (Planck, 1900a, 1900b), pode ser considerada como marco inicial do que veio a ser denominado de Mecânica Quântica. Tendo sido empregada por Einstein e Bohr (Bohr, 1952; Pais, 1982; Pippard, 1995), conduziu a que, por volta de 1920, estivesse mais ou menos estabelecida a impossibilidade da Física Clássica de, adequadamente, descrever fenômenos em escala atômica (Pippard, 1995).

O efeito fotoelétrico constituiu ingrediente essencial para o "nascimento" da Mecânica Quântica. Descoberto em 1887 por H. Hertz (1857-1894), foi explicado por J. J. Thomson (1856-1940), em 1899, como resultado da emissão de elétrons sob a influência da luz. No entanto, sua importância para a explicação de questões fundamentais em Física só começou a ser compreendida a partir de 1905, com o trabalho de Einstein (1879-1955) sobre a teoria quântica da luz.

As investigações, em 1923, a respeito do efeito Compton (em razão de A. H. Compton, 1892-1962) evidenciaram o caráter descontínuo da radiação, não tendo, à época, conduzido a uma satisfatória compreensão daquilo que posteriormente veio a ser conhecido como dualidade onda-partícula. No efeito Compton há uma associação explícita entre uma manifestação ondulatória (luz) – caracterizada por um comprimento de onda λ – e uma propriedade típica de partículas – a quantidade de movimento (momentum) p. Assim, o momentum de uma onda seria

$$p = \varepsilon/c = h\nu/c = h/\lambda, \qquad (2)$$

onde c é a velocidade da luz. Por volta de 1922, Louis de Broglie (1892-1987) começou a tentar associar as idéias de partícula e de ondas, relacionando a massa a um fóton em repouso. No período 1923-1924 estas idéias evoluíram tendo como resultado:

$$\lambda = h/p \qquad (3)$$

onde λ é o comprimento de onda e p é o momentum de uma partícula.

A despeito de uma aceitação mais ou menos generalizada dessas idéias, só em 1927 foi possível se ter uma confirmação experimental do comportamento ondulatório de partículas.

A descoberta do comportamento ondulatório por parte dos elétrons – e consequentemente à possibilidade dos mesmos serem susceptíveis de sofrer difração – tem importância e significado comparável à descoberta dos raios X e à possibilidade dos mesmos serem difratados, conforme os trabalhos de Max von Laue (1879-1960) e colaboradores.

Os trabalhos de C. J. Davisson (1881-1958), L. H. Germer (1896-1971) e G. P. Thomson (1892-1975), que culminaram com a demonstração do comportamento ondulatório para os elétrons, na verdade tiveram início antes mesmo dos trabalhos de de Broglie. Davisson e C. H. Kunsman (1890-1970), nos Estados Unidos, realizaram experimentos com elétrons com energia de até 1500 *eV*, incidentes e refletidos por uma superfície metálica, tendo então sido observados pontos de máximo e de mínimo nas intensidades refletidas, em função da orientação do cristal relativamente à direção do feixe incidente. Os resultados do experimento, de algum modo, chegaram ao conhecimento de W. Elsasser (1904-1991), que particularmente se interessou pelo problema. Elsasser considerou então a hipótese de que os pontos de máximo e de mínimo poderiam resultar de um fenômeno de difração e como isto estaria relacionado idéias de de Broglie. Em 1926 Davisson visitou a Inglaterra (onde participou de uma reunião da Associação Britânica de Física) tendo conversado com Born, orientador de tese de Elsasser. No seu retorno aos Estados Unidos, Davisson, juntamente com Germer, deram início a uma nova série de experimentos que resultaram, em 1927, na divulgação dos resultados relativos ao bombardeio de elétrons, sobre uma superfície de níquel. Estes resultados demonstraram claramente a existência das então denominadas "ondas de de Broglie". Thomson, na mesma mencionada reunião, obteve informações sobre os trabalhos de Davisson. Ao retornar a Aberdeen, onde detinha a cátedra de Filosofia Natural, encorajou um estudante de pós-graduação A. Reid a modificar alguns equipamentos e a dar início a experimentos semelhantes aos relatados por Davisson. Este trabalho resultou na obtenção de figuras semelhantes às obtidas pela incidência de raios X em amostras policristalinas, como mostrado na Figura 1.

Desde os primeiros anos da descoberta de que os elétrons poderiam apresentar comportamento ondulatório, foi reconhecida a potencialidade da nova técnica para a determinação da estrutura de superfícies. No entanto, foram necessários 30 a 40 anos para que a técnica se tornasse uma ferramenta confiável para o estudo de superfícies. As razões para isto foram de natureza variada, mas podem ser enquadradas como sendo decorrentes de dificuldades de dois tipos: (i) de natureza experimental e (ii) de natureza teórica.

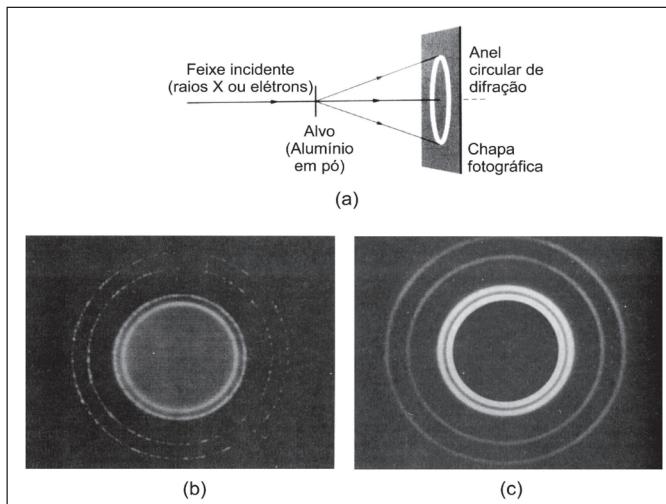



Figura 1: Figuras de difração para a montagem, esquematicamente mostrada em a. Em b temos o caso do feixe incidente como sendo de raios X, enquanto em c temos o caso de elétrons. Vale observar que, para o caso da figura, o comprimento de onda de de Broglie, para os elétrons, é o mesmo que o dos fótons de raios X. A semelhança nos padrões de difração é evidente. (Fotos com publicação gentilmente autorizada por John Wiley Inc.).

Para uma superfície ter a sua estrutura adequadamente determinada, é necessário que a mesma esteja bastante limpa e assim se mantenha durante um intervalo de tempo suficientemente longo para a realização do experimento. Assim, a amostra a ser examinada precisa estar colocada em um vácuo que a possibilite ficar livre de contaminantes oriundos da atmosfera que lhe é externa, exceto nos casos onde se deseja estudar justamente uma situação de contaminação controlada. Espécies químicas não desejadas necessitam sempre ser removidas, com a superfície contendo apenas o que se deseja de fato examinar. Quando um material, em fase gasosa, é depositado sobre um substrato sólido, ele pode recobrir parcial ou totalmente a superfície exposta. Se o material ocupa, por

exemplo, 40% dos sítios disponíveis do substrato, diz-se que há uma cobertura de 0,4. Quando todos os sítios disponíveis são ocupados tem-se uma cobertura de 1,0 ou, de outra maneira, diz-se que houve a deposição de uma monocamada. Estes valores dependem, entre outros fatores, da temperatura, da pressão e da probabilidade de aderência do que é depositado sobre o substrato. Para exemplificar, se considerarmos uma pressão da ordem de 10^{6} Torr (1 Torr = 1/760 da pressão atmosférica), é possível estimar a taxa de incidência das moléculas de um gás sobre uma superfície como correspondendo à uma camada atômica a cada 3 segundos (se assumirmos que todas as moléculas incidentes aderem à superfície). Para uma pressão menor, por exemplo, da ordem de 10^{10} Torr, esta taxa é reduzida a cerca de 1 monocamada a cada 8 horas. Como a realização de um experimento em Física de Superfícies pode demandar horas, depreendemos assim a necessidade de que sejam utilizadas pressões da ordem de 10^{10} a 10^{11} Torr, nos experimentos que visem à determinação estrutural de superfícies em escala atômica. Como, à época dos trabalhos de Davisson e Thomson, a tecnologia de vácuo era ainda incipiente, incapaz portanto de que fossem obtidas as necessárias baixas pressões, o uso do espalhamento de elétrons para a determinação de estruturas de superfícies ordenadas permaneceu por um certo tempo no "limbo", somente passando a ser utilizada de modo rotineiro a partir da década de 60, do século passado. No plano teórico, as dificuldades decorreram, por um lado, da, àquela época, inexistência de modelos teóricos capazes de adequadamente representarem as principais interações a que os elétrons do feixe incidente experimentam com os átomos da superfície. Por outro lado, não se dispunha de recursos computacionais necessários ao cálculo, mesmo que um modelo teórico adequado pudesse então ter sido formulado.

Em 1937 Davisson e Thomson foram contemplados com o Prêmio Nobel de Física pela demonstração experimental da difração de elétrons em cristais. Há, nisto, um fato curioso e merecedor de registro. Em 1906, J. J. Thomson (pai de G. P. Thomson) foi agraciado com o Prêmio Nobel, em razão das suas investigações sobre a condução da eletricidade nos gases que, em última instância, evidenciavam a existência do que então era entendido como uma nova partícula: o elétron. Decorridos 31 anos, o seu filho recebeu o mesmo prêmio por demonstrar que esta mesma partícula poderia se comportar como uma onda!

Referências

Bohr, N., 1952, Collected Works, volume 2. North-Holland, Amsterdam.

Pais, A., 1982, Subtle is the Lord. Oxford University Press, Oxford.

Pippard, B., 1995, in: Twentieth Century Physics, volume I, ed. L. M. Brown, A. Pais and B. Pippard, Bristol, Philadelphia and New York, Institute of Physics Publishing and American Institute of Physics Press.

Planck, M., 1900a, Über eine Verbesserung des Wienschen Spektralgleichung, Verhandlungen der Deutsche Physikalische Gesellschaft, volume 2, 202-204.

Planck, M., 1900b, Zur Theorie des Gesetzes der Energievertheilung im Normalspektrum. Verhandlungen der Deutsche Physikalische Gesellschaft, volume 2, 237-245.

UTILIZAÇÃO DE SEMICONDUTORES EM DOSIMETRIA DE RAIOS-X DIAGNÓSTICO

Marcus Vinícius Teixeira Navarro (navarro@cefetba.br)
Laboratório de Física Radiológica
Centro Federal de Educação Tecnológica da Bahia

Conheci o Professor Sérgio Esperidião no início dos anos 90, ainda no curso de graduação em Física. Nos primeiros anos tive pouca aproximação com ele. Apenas em 1994, quando desenvolvia um trabalho de Iniciação Científica com o professor Caio Castilho e tive dificuldades na solução numérica de uma integral, o professor Caio solicitou que Sérgio me auxiliasse no desenvolvimento de um programa, em Fortran, para tal solução. Este foi o início de uma orientação que continuou até o Mestrado, e de uma admiração por um profissional dedicado e companheiro, que cultivo até hoje. Sérgio se transformou não só em meu Orientador, formalmente, como também em um amigo.

Iniciamos o projeto de Mestrado em março de 1997 e concluímos em fevereiro de 1999, com o objetivo de estudar semicondutores excitados por laser. Sérgio tinha desenvolvido o Doutorado nesta área e gostaria de continuar os estudos. Contudo eu estava começando a trabalhar com física radiológica (radioterapia, especificamente), o que me levou a propor estudarmos a excitação de semicondutores com espectros largos de altas energias, ou seja, raios-x. Como sempre, Sérgio se empolgou com a idéia e aceitou de imediato a proposta.

Neste trabalho analisamos, através da Mecânica Estatística do não equilíbrio, a formação de estruturas dissipativas num plasma duplo semicondutor, submetido à ação contínua de uma fonte excitadora de largo espectro. Utilizamos, para esta análise, o método do operador estatístico de não equilíbrio na forma proposta por Zubarev e mostramos, analiticamente, que, no caso do plasma duplo em semicondutor intrínseco, não existe formação de estruturas dissipativas.

Contudo, encontramos as condições para que exista a formação de tais estruturas num plasma duplo em semicondutor extrínseco e, por fim, resolvemos o problema numericamente para o GaAs, confirmando os resultados analíticos que encontramos.

Como perspectiva de continuidade deste trabalho, indicamos que: "Tentaremos aplicar este estudo ao caso do semicondutor fotoexcitado através de equipamentos que produzem radiação ionizante, pois. na sua maioria, possuem um espectro largo de fótons, com energias de fóton que variam desde kev até Mev. Nestes casos, temos o interesse prático de construir medidores de intensidade e de energia (dosímetro) para equipamentos de Raios-X e elementos radioativos, com o objetivo de construir equipamentos de controle de qualidade que possam ser utilizados nas clínicas e hospitais que utilizam radiações ionizantes. Os instrumentos utilizados atualmente são, na sua maioria, importados e de alto custo, tornando necessário o desenvolvimento de equipamentos de dosimetria de fácil utilização, de baixo custo e, principalmente, de compatibilidade com nossa realidade climática da região Nordeste, que apresenta altas temperaturas e índices elevados de umidade relativa do ar."

Quando terminamos o Mestrado (Navarro, 1999), estávamos iniciando a estruturação do Laboratório de Física Radiológica do Centro Federal de Educação Tecnológica da Bahia (CEFET-BA), que se tornou um dos mais bem equipados laboratórios da América Latina, na área de física radiológica, tendo como um dos objetivos o estudo de dosimetria de raios-x e a construção de um detector de radiação a base de semicondutores.

A utilização de câmaras de ionização para a realização de dosimetria em raios-x, na Bahia, tem encontrado diversos problemas, principalmente devido aos elevados índices de umidade relativa do ar e à temperatura ambiente. A umidade relativa do ar média em Salvador é de 80%, provocando instabilidade nos equipamentos que possuem câmaras de ionização para a detecção de radiação, visto que as câmaras, por apresentarem o gás como meio ionizante, estão expostas à instabilidade diante de alterações de temperatura e umidade, gerando com isso uma deficiência nas medidas.

Assim, através de um projeto de Iniciação Científica e, em continuidade, com um projeto de final de Curso de um aluno de Engenharia Elétrica do

CEFET, conseguimos construir o primeiro protótipo para medir dose de radiação e tempo de feixe em raios-x odontológico.

Para efetuar a avaliação dos foto-sensores, a base de semicondutores, desenvolvemos uma eletrônica capaz de realizar a aquisição dos sinais gerados pelos foto-transístores após a incidência dos raios-X. Posteriormente, cada foto-sensor foi avaliado para verificar a resposta com a intensidade de irradiação, energia de irradiação e tempo de irradiação. Os detectores passíveis de utilização devem apresentar uma resposta linear diante dos referidos parâmetros citados.

A eletrônica tem como objetivo captar a resposta do foto-sensor excitado por um feixe de raios-X. A idéia do circuito construído é utilizar o foto-sensor como um transdutor de entrada, no qual é capaz de transformar os raios-x em sinal elétrico. Após a geração desse sinal elétrico, ocorre uma contagem dos pulsos gerados e a resposta pode ser visualizada em displays.

O sistema foi construído com CI 555, com um foto-sensor BPW 78, um CI 74LS08; um circuito contador – 4 CI 7490, um circuito conversor – 4 CI 7447 e quatro displays de 7 segmentos. Para a verificação do desempenho do foto-sensor foram utilizados: um equipamento de raios-x odontológico modelo Minorex, 50 kV, um equipamento de Radiodiagnóstico modelo Raex 300D, 120 kV e um sistema de medida 9010+4082, da RADCAL, calibrado.

Os testes realizados mostraram que a instrumentação mede tempo para algumas faixas de energia. Contudo, a eletrônica apresentou instabilidade, que precisa ser revista com o objetivo de melhorar a qualidade da medida que está sendo adquirida.

Os resultados indicam que é possível a construção de um detector de radiação com a utilização de foto-transistor comercial. Foi possível verificar que a instrumentação apresenta boa resposta ao tempo, mas é necessário melhorar a estabilidade da eletrônica utilizada no circuito, visto que alguns resultados não apresentam conformidade com as respostas dos equipamentos calibrados tomados como padrão de medida.

Os estudos para a utilização de semicondutores em dosimetria de raios-x diagnóstico são uma das diversas formas de utilizar a Física para resolver os problemas do nosso mundo real, tornando-a: próxima, real, desejável e encantadora.

Sem dúvida alguma, este era um dos grandes dons de Sérgio: tornar a Física encantadora!

Referência

Navarro, M. V. T., 1999, Formação de Estruturas Dissipativas em Semicondutores Excitados por uma Fonte de Largo Espectro, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal da Bahia.

CONTRIBUIÇÕES AO ESTUDO DA SONDA DE FOLEY ADAPTADA PARA TRATAMENTO DA EPISTAXE (HEMORRAGIA NASAL)

Fernando Pena Gaspar-Sobrinho (drgaspar@uol.com.br)
Faculdade de Medicina
Universidade Federal da Bahia

Como médico otorrinolaringologista, tive a oportunidade de tratar muitos pacientes com epistaxe grave através do tamponamento nasal com a sonda de Foley. Trata-se de um instrumento originalmente proposto para uso em Urologia, mas que há décadas é aplicado em Otorrinolaringologia com diferentes finalidades. Apesar de sua utilidade, encontramos, eu e o professor de Medicina Hélio Lessa, poucos estudos de natureza básica ou clínica sobre este instrumento. Resolvemos então estudá-lo. Porém, essa decisão foi concretizada somente após o apoio do Professor Sérgio Esperidião, que nos mostrou a factibilidade da pesquisa. Foi deste modo que tive a honra e a satisfação de trabalhar, durante alguns meses do ano de 2004, com o Professor Sérgio Esperidião, exemplo de dedicação à universidade; tempo suficiente para um aprendizado único e inesquecível. Deste momento singular, resultaram três artigos científicos, sendo um deles já publicados. Antes deste estágio no Instituto de Física, já havíamos publicado uma técnica para fixação da sonda de Foley no nariz, que também consta em minha dissertação de Mestrado. Todos os artigos cujos resumos estão listados abaixo, com exceção do último, têm os seguintes autores: Fernando P. Gaspar-Sobrinho, Antônio S. C. Esperidião e Hélio A. Lessa. Contamos também com a colaboração do acadêmico de Medicina Edgar Damasceno. Para realizar o projeto proposto, usamos instrumentos simples como paquímetro e placas de acrílico (Figuras 1, 2 e 3). A Figura 4 se refere à técnica fixação da sonda de Foley no nariz (artigo D).

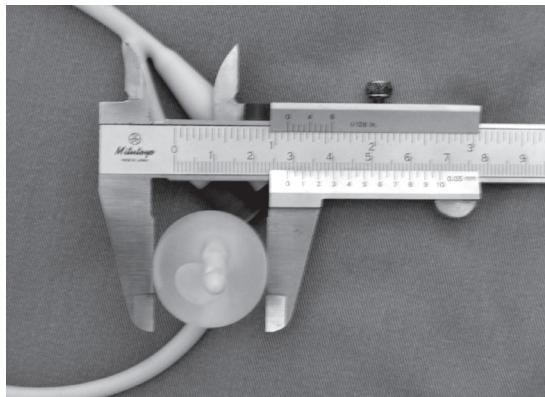



Figura 1. Inflação e esvaziamento.

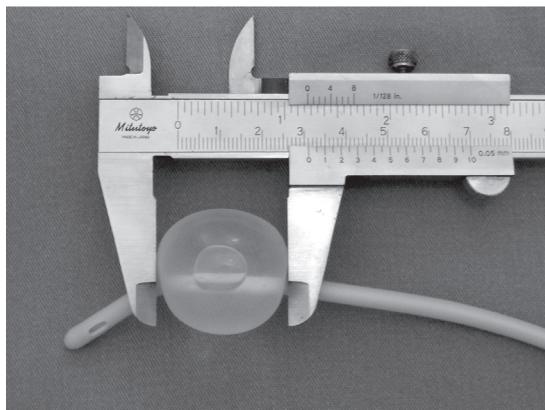



Figura 2. Inflação e esvaziamento.

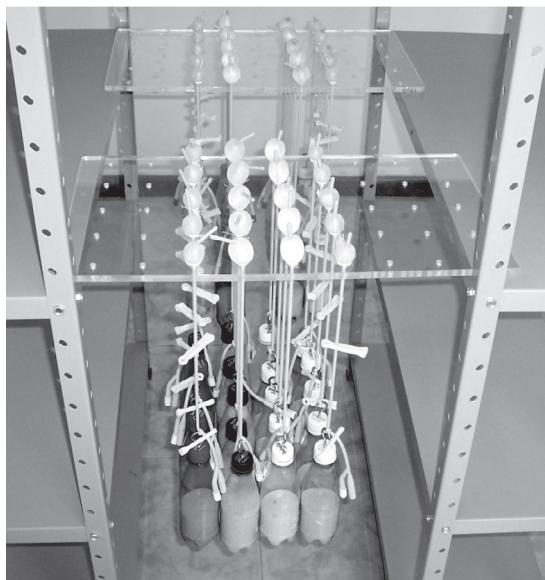



Figura 3. Teste com lubrificantes.

ARTIGO A

Inflação experimental de balonetes usados em epistaxe posterior*

Resumo

Introdução: a escolha das especificações da sonda de Foley adaptada para tamponamento nasal tem sido feita empiricamente, e há poucos estudos sobre artefatos como o Epistat®. **Objetivo**: avaliar a distensão de balonetes de diferentes especificações da sonda de Foley, com ar ou água, e compará-la à distensão do balonete posterior do Epistat®. **Forma de estudo**: experimental. **Material e Método**: oitenta sondas foram distribuídas entre as especificações: 12Fr e 14Fr, 5ml e 30ml, infladas com ar ou água e mensuradas, enquanto cinco balonetes de Foley foram comparados com cinco artefatos Epistat®. **Resultados**: os balonetes de Foley inflados com água tenderam a apresentar maior distensão. Os balonetes das sondas de maior calibre e volume tenderam a apresentar maior diâmetro, mas sobretudo após o uso de volumes maiores que os recomendados em epistaxe. O balonete de Foley apresentou padrão de distensão típico, em que o diâmetro, importante no selamento da coana, tende ao platô, e o comprimento, que expande para orofaringe, aumenta de modo mais linear, distinto do Epistat®. Usando-se o volume recomendado em epistaxe, a dissociação diâmetro-comprimento do balonete de Foley é incipiente. **Conclusões**: justifica-se a escolha inicial da sonda 12Fr/30ml, de menor calibre, para se dispor de mais espaço na narina na confecção do tampão nasal anterior associado ao balonete de Foley. Com vistas ao tamponamento nasal posterior, o perfil de distensão do Epistat® é favorável, mas o volume de líquido sugerido pela literatura se encontra nos limites de melhor expansão do balonete de Foley, o qual não deve ser hiperinflado.

Palavras-chave: balonete nasal, epistaxe, sonda de Foley.

**Submetido à Revista Brasileira de Otorrinolaringologia.*

ARTIGO B

Desinflação experimental de balonetes usados em epistaxe**

Resumo

Introdução: balonetes usados no tratamento da epistaxe podem esvaziar-se espontaneamente quando inflados com ar. **Objetivo**: avaliar se certas especificações da sonda de Foley, uso de lubrificantes ou o Epistat® minimizam os efeitos da desinflação espontânea associada ao uso de ar. **Forma de estudo**: experimental. **Material e Método**: sessenta sondas de Foley foram distribuídas em quatro especificações, 12Fr ou 14Fr, e 5ml ou 30ml. Dez sondas de cada especificação foram infladas com 15ml de ar e outras cinco com água, submetidas a tração e medidas a cada 12h. O mesmo procedimento foi realizado com o balonete posterior de cinco artefatos Epistat® e sondas de Foley lubrificadas com gel ou pomada. **Resultados**: ao contrário do observado com o uso de água, o diâmetro dos balonetes de Foley de todas as especificações inflados com ar reduziu-se quase pela metade com 36h. Balonetes lubrificados desinflaram mais lentamente. A desinflação do Epistat® foi mais rápida que a do balonete de Foley. Em contraste com a lubrificação, nossos resultados indicam que variar as especificações da sonda de Foley inflada com ar e sob tração não minimiza os efeitos do esvaziamento espontâneo sobre o diâmetro de seu balonete com vistas ao tratamento da epistaxe posterior. **Conclusão**: para tamponamento nasal, a sonda de Foley e o Epistat® devem ser inflados com água ou solução salina.

Palavras-chave: epistaxe, balonete nasal, sonda de Foley.

***Em processo de submissão a periódico.*

ARTIGO C

Efeito de lubrificantes sobre a integridade da sonda de Foley e implicações no tamponamento nasal para epistaxe***

Resumo

Introdução: O tamponamento nasal para epistaxe é comumente realizado com gaze lubrificada e sonda de Foley. O balonete de Foley, de látex, pode ser dissolvido pela vaselina ou parafina; entretanto, estes são excipientes de várias pomadas e cremes. **Objetivo**: Avaliar o efeito de potenciais lubrificantes sobre a integridade da sonda de Foley. **Forma de estudo**: Experimental. **Material e Método**: Balonetes de 80 sondas foram eqüitativamente distribuídos e mantidos sob tração em contato com um dos seguintes produtos: duas pomadas, três cremes, um gel, vaselina e gaze seca, e inspecionados a cada 24 horas por cinco dias. Os lubrificantes foram testados quanto à hidrossolubilidade. **Resultados**: Vinte balonetes romperam-se, dos grupos vaselina e uma pomada. Os produtos não associados à degeneração da sonda mostraram-se hidrossolúveis, a despeito da presença de petrolato. **Discussão**: Conjectura-se que a gaze do tampão nasal anterior com lubrificante hidrofóbico contendo petrolato, justaposto ao balonete de Foley, pode lesá-lo. **Conclusões**: Considerando-se apenas a inocuidade à sonda de Foley, os cremes e a pomada Furacin® poderiam ser indicados para lubrificar a gaze do tampão nasal anterior associado ao balonete de Foley. Nossos resultados sugerem que cremes, pomadas e géis hidrossolúveis preservam a integridade da sonda de Foley, ainda que contenham derivados do petróleo.

Palavras-chave: sonda de Foley, parafina, epistaxe.

****Publicado na Revista Brasileira de Otorrinolaringologia, v. 70, n.1, p. 295-299, 2004; e apresentado no XXII Encontro de Físicos do Norte e Nordeste, Feira de Santana, Bahia, 2004.*

ARTIGO D

Fixação da sonda de Foley no tratamento da epistaxe posterior e prevenção de lesões à asa do nariz****

Resumo

Introdução: no tratamento da epistaxe posterior, a sonda urinária de Foley deve ser adequadamente posicionada e fixada para ser efetiva e evitar-se complicações. **Objetivo**: descrever um instrumento alternativo para fixação da sonda de Foley. **Método**: a técnica usada para a fixação da sonda de Foley envolve a utilização de uma válvula de equipo para administração de soluções parenterais associada a um fragmento do tubo terminal de drenagem da sonda, apoiados sob compressa cirúrgica ou gaze. **Conclusão**: a válvula mostrou praticidade na modulação de volume do balão pneumático e firmeza na preensão do tubo principal da sonda de Foley sem evidência de complicações associadas à fixação, até o presente momento.

Unitermos: epistaxe posterior, sonda de Foley, complicações.

****Publicado na Revista Arquivos de Otorrinolaringologia, v. 7, n. 4, p. 272-276, 2003.*

Figura 4.

ELABORAÇÃO DE RECURSOS DIDÁTICOS EXPERIMENTAIS UTILIZANDO MATERIAIS DE FÁCIL ACESSO NUMA PERSPECTIVA CONSTRUTIVISTA

Sérgio Figueiredo Borges (sfborgesba@yahoo.com.br)
Faculdades Jorge Amado

Introdução

Como professor da disciplina Física na rede pública, vivencio uma situação que é evidenciada por diversas estatísticas: o baixíssimo índice de aprendizado nos cursos de Física e de Ciências (no que tange ao conteúdo de Física), normalmente ministrados utilizando-se uma metodologia tradicional (quadro e giz). Dentre os inúmeros fatores que contribuíram para esta situação, um é por nós considerado básico: a falta ou a não-operação de laboratórios didáticos nas unidades escolares da rede pública estadual que trabalham com o ensino de Física. Normalmente, o fator custo de montagem e operação desses laboratórios é apontado como o principal problema. Nesse contexto, a idéia da reciclagem de materiais descartados por nossa sociedade como lixo, para a produção de recursos didáticos experimentais, tem um papel de apresentar uma possível solução para amenizar este problema tão potencializador, além de propiciar espaço para a discussão de temas transversais relacionados a questões ambientais. Esta é a proposta deste trabalho.

Um outro ponto de motivação deste trabalho foi a dimensão humana – os docentes da área de Ciências. Tanto no ensino fundamental como no médio, em geral, como apontam pesquisas, acredita-se que a melhoria do ensino de Ciências passa, necessariamente, pela implantação de aulas práticas no currículo. Mas qual a real condição do professor para promover um ensino de Ciências articulado com atividades experimentais? Questões como esta motivaram uma atividade de pesquisa de campo, em que, na condição de pesquisador, utilizei metodologias e procedimentos

adequados para trazer à tona um quadro real, no qual ficassem evidenciadas as opiniões, os problemas e as possíveis soluções para as questões em voga.

Fundamentação Teórica

Partimos do pressuposto de que um professor precisa conhecer a História das Ciências, não só como um aspecto básico da cultura geral, mas, principalmente, como uma forma de associar os problemas científicos que originaram sua construção. Pode-se, assim, conhecer quais foram as dificuldades e obstáculos epistemológicos que tiveram de ser superados, o que constitui uma ajuda imprescindível para compreender a dificuldade dos alunos e, também, como os referidos conhecimentos evoluíram, chegando a articular-se em corpos coerentes, evitando, assim, visões estáticas e dogmáticas que deformam a natureza do trabalho científico (Carvalho & Gil-Perez, 1998)

O atual ensino de Física, seja nos cursos de Ciências do ensino fundamental ou no próprio ensino médio, é normalmente ministrado de forma tradicional e para fins propedêuticos. Neste quadro, a História das Ciências, em particular a História da Física, está fora de cena, e seus grandes atores como Galileu, Newton, Joule, Huygens, Einstein, dentre outros, não passam de meros formuladores de equações (fórmulas), desvinculadas de fatores sociohistóricos e, até mesmo, de procedimentos experimentais. Nesta linha de raciocínio, acreditamos que a História da Ciência tem uma importante contribuição a dar ao ensino de Ciências, o que é corroborado por Astolf (1995). Carvalho e Vannucchi (1996) fazem as seguintes referências a essas contribuições em um artigo intitulado "O Currículo de Física: inovações e tendências para os anos noventa". Nestes últimos anos, dois currículos internacionais, o novo currículo nacional britânico de Ciências e o projeto americano – AAAS 2061, mostram claramente a influência da História e da Filosofia das Ciências em seus programas (Matthews, 1994 apud Vannucchi). Também podemos medir essa influência pelo aparecimento de revistas científicas especializadas nesta área, como a revista nacional Perspecilium e a internacional Science Education, e por simpósios temáticos, nacionais e internacionais, que se dedicam, exclusivamente, a estudar a História e a Filosofia das Ciências no ensino de Ciências.

O físico Mário Schenberg faz a seguinte referência ao estudo da História das Ciências:

> O estudo da História das Ciências é muito importante sobretudo para os jovens. Acho que os jovens deveriam ler História das Ciências porque freqüentemente o ensino universitário é extraordinariamente dogmático, não mostrando como ela nasceu. Por exemplo, um estudante pode facilmente imaginar que o conceito de massa seja simples e intuitivo, o que não corresponde à verdade histórica. [...] O conceito de massa, juntamente com o conceito de força, é, na realidade, muito difícil (Schenberg, apud Rocha, 2002, p. 185).

É importante deixar bem claro que, neste trabalho, não estamos nos propondo a realizar uma análise epistemológica, e sim, apenas, a evidenciar, a partir de uma leitura da História da Física Clássica, a contribuição e a importância da dimensão experimental no desenvolvimento, evolução e comprovação das idéias dos cientistas nesse período, o que, a nosso ver, é um importante referencial na defesa de uma dimensão experimental no ensino da Ciência Física.

Países como a França e os EUA iniciaram projetos ("La Main à la Patê", na França, e "Hands On", nos EUA) visando a trabalhar o ensino de Ciências, utilizando experimentos em sala de aula como ferramenta de mediações, desde as séries iniciais do ensino fundamental. Essa iniciativa sensibilizou academias de Ciências de outros países, dentre eles o Brasil, onde o projeto recebeu o título de "ABC na Educação Científica – Mão na Massa". Esta designação está relacionada ao fato de o projeto estar especialmente voltado para o ensino das Ciências na escola fundamental.

Na França, o projeto vem sendo aplicado, desde 1996, com crianças do ensino maternal e primário, principalmente em regiões economicamente desfavorecidas e com problemas referentes à língua oficial (regiões com muitos filhos de imigrantes). A proposta foi apoiada e desenvolvida por Georges Charpak, prêmio Nobel, inspirada e adaptada no "Hands On", que teve na figura de Leon Lederman, também prêmio Nobel, um dos seus pioneiros, com experiências em escolas no estado de Illinois (EUA).

No Brasil, o projeto teve início no ano de 2001, com base na versão francesa. A aplicação se deu, inicialmente, nas redes estadual e municipal de três cidades: São Paulo, São Carlos e Rio de Janeiro.

O presente trabalho tem inserida, no seu objetivo principal, a idéia de utilizar atividades experimentais em aulas de Ciências no ensino fundamental da rede pública, especificamente quando da abordagem do conteúdo da Ciência Física. Preocupamo-nos com a forma como normalmente estes conteúdos são trabalhados nessas aulas. Ao pensarmos na possibilidade de construir recursos didáticos fazendo uso de materiais recicláveis, não só estamos querendo apresentar uma possível solução econômica, mas também procurar articular a utilização desses recursos com uma teoria pedagógica que, na nossa opinião, seja a mais adeqüada, no sentido de promover um papel relevante no aprendizado do educando. O paradigma Construtivista, seja na sua *episteme* ontogenética (Piaget, 1987) ou nas idéias sociointeracionistas (Vygotsky, 1988), é por nós considerado um referencial central, para que estas idéias sejam discutidas e articuladas nesse contexto. A literatura mostra-nos que o paradigma Construtivista tem norteado a maioria das pesquisas com relação ao ensino de Física, nos últimos quarenta anos. O aprendizado a partir da metáfora da mudança Conceitual (Moreira, 1995) ou da evolução do perfil Conceitual (Mortimer, 2000) são alguns exemplos.

Dividimos este trabalho em duas partes. A primeira trata de uma pesquisa empírica que visa a atender ao objetivo geral: construir recursos didáticos utilizando materiais de baixo custo, em sua maioria, recicláveis. A segunda está relacionada ao objetivo específico: investigar as concepções dos professores de Ciências da Rede Pública Estadual do ensino fundamental da cidade do Salvador, a respeito da produção e utilização de recursos didáticos experimentais construídos com materiais de fácil acesso (baixo custo), em sua maioria, reciclados, em suas respectivas aulas, quando da abordagem do conteúdo da Ciência Física.

Recursos Didáticos

A estratégia utilizada nesta parte dividiu a questão principal deste trabalho em três questões operacionais. (1) Quais são os conceitos, as leis ou os fenômenos da Ciência Física, abordados pelos professores da Rede Pública Estadual do ensino fundamental da cidade do Salvador em seus cursos de Ciências? (2) Quais, dentre os materiais descartados pela sociedade, podem ser utilizados na construção de recursos didáticos experimentais desta

natureza? (3) Quais são os procedimentos e os critérios que devem ser adotados para a construção de recursos didáticos experimentais desta natureza?

Foi feito um levantamento do conteúdo da Ciência Física, abordado pelos professores de Ciências em suas aulas. A base deste estudo foram os livros adotados pelos professores em seus cursos de Ciências. Em um segundo momento, foi realizada uma avaliação empírica, dentre os materiais descartados pela sociedade, visando a sua reciclagem para cumprir o nosso objetivo. Por último, foram construídos os recursos no Laboratório Didático Prof. Klaus Weltner, sala 108, Instituto de Física da Universidade Federal da Bahia. O trabalho de construção de um recurso desta natureza é de base empírica. Após a seleção do conceito, fenômeno ou lei que se deseja demonstrar, o pesquisador, a partir de suas idéias ou de contribuições a recursos já existentes rio no intuito de materializá-las.

Construído, o recurso passa por uma fase de testes operacionais que visam a obedecer critérios como: funcionamento e eficiência, visibilidade do que se quer demonstrar e condições de higiene e segurança. Após esta série de testes, o pesquisador concentra-se na tarefa de elaborar um roteiro para cada recurso. O objetivo deste tópico é proporcionar aos interessados a possibilidade de reconstruí-los e utilizá-los. Nosso intento inicial é que os professores que trabalhem com o ensino de Física, no ensino fundamental, possam ter mais uma fonte de referência nesse assunto.

Os roteiros foram estruturados da seguinte forma: um tópico com referências históricas e embasamento teórico sobre o tema abordado; um outro contendo o procedimento operacional, materiais utilizados, condições de higiene e segurança e uma série de questões para serem discutidas durante as aulas.

Os roteiros foram concebidos de acordo com os resultados da pesquisa realizada com os docentes. Procuramos ser fiéis ao princípio que consideramos básico para a utilização desses recursos em aulas de Ciências: a articulação entre teoria-prática e linguagem (Mortimer, 2000).

Desenvolvemos 35 experimentos com materiais recicláveis. Ilustramos aqui apenas um deles, apresentando, na figura a seguir, a lista de material utilizado, bem como sua montagem experimental.

Levantamento de Dados junto aos Professores de Ciências

O objetivo específico de investigar as concepções dos professores de Ciências da Rede Pública Estadual do ensino fundamental da cidade do Salvador a respeito de utilização de recursos experimentais, em sala de aula, foi dividido em cinco questões operacionais.

(1) Os professores de Ciências da Rede Pública Estadual do ensino fundamental da cidade do Salvador utilizam recursos didáticos experimentais quando abordam conceitos, leis ou fenômenos da Ciência Física em suas aulas? (2) Os professores demonstram interesse e conhecimento a respeito do tema "construção e utilização de recursos experimentais utilizando materiais recicláveis"? (3) Quais as justificativas dadas pelos professores para a resposta da questão anterior? (4) Os professores demonstram habilidades na utilização de recursos didáticos experimentais, quando solicitados? (5) Qual o perfil de opinião dos professores a respeito da questão de pesquisa principal deste trabalho?

Com o objetivo de levantar opiniões e concepções sobre o tema "utilização e produção de recursos experimentais", foi realizada uma enquete com professores de Ciências que atuam no ensino fundamental (oitava série) da Rede Pública Estadual da cidade do Salvador. A análise dos dados revelou o fator falta de uma base teórica para elaboração e utilização desses

recursos. Tal base teórica é preponderante para que essas atividades sejam realizadas em aulas de Ciências, pelos professores pesquisados. Este dado deve ser olhado com bastante atenção pelos estruturadores dos currículos de formação básica de professores de Ciências. Podemos encontrar, nos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs), indicações para que se ofereça um ensino de Ciências, no qual fiquem evidenciados fatores sociais (Ciência como uma Construção Humana) e, até mesmo, discussões sobre as teorias científicas, nesse contexto (Borges, 2000).

Conclusões

Neste trabalho, discutimos a hipótese de que os materiais descartados pela sociedade podem ser reaproveitados, em seu benefício. Para isso, demonstramos que podemos construir recursos didáticos experimentais, utilizando esses materiais. Dentre outras vantagens, o baixo custo de produção e manutenção, o fácil acesso, e o caráter construtivista desses recursos são virtudes que podem fazer do simples uma possível solução para minimizar um sério problema nas escolas públicas – a falta de atividades experimentais (laboratórios) – e, ao mesmo tempo, possibilitar o acesso de uma boa parte da população escolar a um dos pilares da Ciência, a atividade experimental.

Procuramos, também, levantar as concepções dos professores da rede a respeito do tema central deste trabalho. As evidências obtidas, através de análise dos questionários coletados, revelam aspectos positivos, mas, também, algumas dificuldades quanto a uma possível elaboração e uso desses recursos em sala de aula. No nosso entender, a formação desses professores passa, necessariamente, por um domínio de tópicos da História e da Filosofia das Ciências, e por um bom domínio das atividades experimentais, referentes, principalmente, à construção destes conhecimentos. O conhecimento da História e da Filosofia das Ciências traz consigo a dimensões experimental, social e epistemológica, imprescindíveis a um ensino de Ciências de qualidade. Portanto, acreditamos na sensibilidade e na boa vontade dos estruturadores destes cursos, em encontrar possíveis soluções para minimizar essas deformações evidenciadas pelos professores. Uma solução complementar seria o órgão governamental responsável pela gestão do sistema proporcionar uma formação mais adequada aos professores através de cursos de reciclagem.

A viabilidade de utilização de materiais de fácil acesso para a produção de recursos didáticos encontra apoio nas referências citadas no corpo deste trabalho. Isso nos deixa bastante otimistas com relação à possibilidade de sua utilização, em aulas de Ciências, por professores da rede de ensino médio.

Incorporar a utilização de recursos experimentais nas aulas de Ciências do ensino fundamental, na rede pública, deve ser considerado como um desafio prazeroso pelos diversos estruturadores do sistema escolar, principalmente pelo seu "motor", o professor. As dificuldades existem, mas a possibilidade de tornar as aulas mais atraentes, divertidas e compreensíveis para os alunos será, com plena certeza, uma experiência gratificante.

Este texto faz parte da minha dissertação de mestrado, última dissertação orientada pelo Prof. Sérgio na UFBA, defendida em 2005, que leva o mesmo título deste trabalho.

Referências

Astolfi, J. P. e Develay, M., 1995, A Didática das Ciências. Papirus, São Paulo.

Borges, A. T., 2002, Novos Rumos para o Laboratório Escolar de Ciências. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, volume 19, 291-313.

Borges, S. F, 2005, Elaboração de Recursos Didáticos Experimentais utilizando Materiais de Fácil Acesso numa Perspectiva Construtivista, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal da Bahia.

Carvalho, A. M. P, e Gil-Perez, D., 1998, Formação de Professores de Ciências: Tendências e Inovações, 3ª ed., Cortez, São Paulo.

Carvalho, A. M. P, e Vannucchi, A., 1996, O Currículo de Física, inovações e tendências nos anos noventa. Investigações em Ensino de Ciências, volume 1, abril de 1996 (www.if.ufrgs.br/public/ensino).

GREF (Grupo de Reelaboração do Ensino de Física), 1993, Física I, II e III. Editora da Universidade de São Paulo, São Paulo.

Kant, I., 1989, Crítica da Razão Pura, tradução de M. P. dos Santos e A. F. Morujão, 2ª ed., Calouste Gulbenkian, Lisboa.

Moreira, M. A., 1996, Modelos Mentais, Investigações em Ensino de Ciências, volume 1, dezembro de 1996 (www.if.ufrgs.br/public/ensino**).**

Mortimer, E. F., 2000, Linguagem e Formação de Conceitos no Ensino de Ciência. Editora da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

Piaget, J. e Garcia, R., 1987, Psicogênese e História das Ciências. Publicações Dom Quixote, Lisboa.

Popper, K. R., 1993, Lógica da Investigação Científica. 9ª ed., Cultrix, São Paulo.

Rocha, F., Ponczek, R., Pinho, S., Andrade, R., Freire, O., Ribeiro, A., 2002, Origens e Evolução das Idéias da Física, 1ª ed. Editora da Universidade Federal da Bahia, Salvador.

Schiel, D., e Felix, B., Sobre o Projeto ABC na Educação Científica – A Mão na Massa (www.inrp.fr/lamap/reseau/interna/brasil.htm).

Valadares, E., 2000, Física Mais que Divertida. Editora da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

Villani, A., e Orquiza de Carvalho, O., 1993, Representações mentais e experimentos qualitativos. Revista Brasileira de Ensino de Física, volume 15, 74-89.

Vygotsky, L. S., 1988, Formação Social da Mente, 3ª ed. Martins Fontes, Rio de Janeiro.

O PROJETO DO MUSEU DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE AUTORIA DE ANTÔNIO SÉRGIO CAVALCANTE ESPERIDIÃO

Pablo Rodrigo Fica Piras[1] (pafipi@gmail.com), Marise Lago da Rocha[2] (museuneb@hotmail.com), Iuri Muniz Pepe[3] (mpepe@ufba.br), Marçal Ribeiro da Fonseca[2], José Garcia Vivas Miranda[3] (vivas@ufba.br)

[1] Universidade Estadual de Feira de Santana

[2] Universidade do Estado da Bahia e Museu de Ciência e Tecnologia da Bahia

[3] Instituto de Física , Universidade Federal da Bahia

Como tudo ocorreu (Relato de Pablo Rodrigo)

O caro leitor conhece algum pesquisador que, ao ouvir um telefonema em uma penúltima segunda-feira de novembro à noite e ser proposto a ele a coordenação de um projeto de recuperação de um museu de ciência que está desmantelado, o interpelado diga imediatamente que sim, inclusive facilitando a senha do currículo Lattes para enviar o projeto nessa hora, no último dia de prazo do Edital, desculpando-se por não ajudar mais?

Esta narração pode ser considerada como uma confidência, pois se trata, até certo ponto, de uma irregularidade. Mas foi ela que possibilitou ganhar um financiamento importante para reerguer o Museu de Ciência e Tecnologia no Imbuí. E serve para dar um testemunho dos muitos interesses científicos aos quais o professor Antônio Sérgio Cavalcante Esperidião dedicava o seu tempo e da generosidade com que o distribuía.

Basta somente mencionar este museu, atualmente sob a jurisdição da UNEB, e para uma parte da população baiana, imediatamente evoca a saudade de um local onde, na década dos anos oitenta, havia um espaço para brincar e curtir uma miniatura da represa de Sobradinho ou a réplica de um avião, uma locomotiva ou mesmo experimentos montados, que ficam perenes na memória, tendo sido talvez o motivo subconsciente de muitos deles terem dedicado a vida à ciência.

Sérgio Esperidião era um dos entusiastas com a volta do museu ao seu momento de glória inicial. Tinha já uma trajetória vinculada à fabricação de experimentos didáticos e por isso foi lembrado primeiro pelo Ernesto Pinheiro Borges e depois pelo José Garcia Vivas Miranda, quando procurava quem assinasse o projeto.

Eu vim para a Bahia no meio de um muito bem sucedido programa de fixação de doutores, patrocinado pela FAPESB. Já no início deste período de trabalho neste estado, o professor da Escola Politécnica Ricardo de Araújo Kalid tinha me dito: "apresente propostas a todos os Editais que apareçam", como forma de ganhar financiamentos para a Universidade Federal da Bahia e para o Estado da Bahia.

Em tempos em que os financiamentos não são diretamente encaminhados às instituições, mas são atrelados a propostas específicas de trabalho, onde um museu não teve durante duas décadas, nem tem, orçamento condizente associado ao seu funcionamento, modernamente, para poder apresentar uma proposta com possibilidade de ganhar Editais, devemos nos ajustar ao que o texto destes editais pede. Neste caso, Edital MCT/SECIS/CNPq n° 07/2003, havia seis linhas de ação possíveis. Já tínhamos feito um projeto em informática aplicada a experimentos virtuais, apresentado pelo professor Kalid. Mas o fato de haver seis linhas possibilitava pensar em estruturar seis propostas diferentes!

Em alguns casos como este, faz parte do método de apresentação de propostas a estes editais a sinalização por parte da FAPESB de qual será a instituição que irá concentrar os esforços. Neste caso iria ser o Museu de Ciência e Tecnologia do Imbuí porque o Governo do Estado reconhecia que havia muito a recuperar nele e que, com estes financiamentos federais, iria se mitigar a necessidade por investimento estadual a ser feito para esta completa recuperação. Foi assim que o Diretor da FAPESB, Alexandre Paupério, deu a dica para focalizar neste museu todos os esforços locais para o edital citado.

O projeto "Experimentos interativos para o Museu da UNEB no Imbuí", da linha produção, aprimoramento ou aquisição de experimentos (EXHIBITS), foi contemplado entre os selecionados. E daí Sérgio foi aprimorando o projeto, coordenando reuniões de planejamento e execução, articulando este projeto com os outros beneficiados, procurando as bolsas necessárias para complementar os financiamentos dedicados exclusivamente a bens

de capital e consumo, e elaborando uma nova proposta, para ser financiada pela Fundação Vitae, que veio a transformar o pedido inicial incipiente em uma proposta que provavelmente em poucos anos trará de volta à comunidade baiana, especialmente à soteropolitana, a possibilidade de se deparar com montagens e maquetes que representam situações onde ficam em relevo fenômenos naturais que a ciência estuda e a tecnologia aproveita.

Pelas suas características pessoais excepcionais, Sérgio Esperidião foi o catalisador deste empenho longo e difícil, que agora prossegue inspirado nele e que ao chegar ao estágio de verdadeira efetivação que todos desejamos, ficará como homenagem concreta a sua particular forma de ser, amável, dinâmico, multiface, receptivo, solidário e cordial.

A construção e execução do projeto no museu (Relato de Marise Lago e Marçal Ribeiro)

A equipe do Museu, em 2004, com o incentivo e apoio da Secretaria de Ciência e Tecnologia, elaborou e encaminhou ao Ministério da Ciência e Tecnologia, projeto para recuperação das instalações físicas do prédio incluindo um segmento de exposição permanente contendo equipamentos interativos de Física, que não foi aprovado.

Ainda em 2004, a Coordenação de Popularização da Ciência da Secretaria de Ciência e Tecnologia da Bahia nos indicou os professores da Universidade Federal da Bahia – Pablo e Esperidião – para enviarmos o projeto do segmento de exposição ao Ministério da Ciência e Tecnologia, em resposta ao edital do CNPq; o projeto foi aprovado, mas não executado.

Um tempo depois, a pedido da Fundação Vitae, encaminhamos sob a coordenação de Prof. Esperidião o projeto "Experimentos interativos para o Museu da Universidade do Estado da Bahia", visando dar início à revitalização do Museu. O projeto foi aprovado e foi assinado convênio entre a Fundação Vitae, a Universidade do Estado da Bahia/ Museu de Ciência e Tecnologia (beneficiário), a Fundação Escola Politécnica da Bahia (gestora do recurso) e Prof. Antonio Sérgio Esperidião (responsável).

Quando Prof. Esperidião faleceu, tínhamos realizado algumas reuniões, definido equipamentos, e alguns fornecedores tinham sido contratados e outros contatados. Então, por determinação da Fundação Vitae, a

coordenação do projeto sob a responsabilidade da gerência do Museu e o recurso disponibilizado, R$110.600,00, foi totalmente aplicado.

Para desenvolver as atividades de popularização da ciência, propostas no projeto, contamos com os 30 equipamentos adquiridos que serão instalados em sala de 130 m^2, na área interna, construída e climatizada e na área externa frontal; para atendimento ao público, que será composto por professores e estudantes de nível médio da rede estadual, municipal e privada de Salvador, contamos com a atual e reduzida equipe do Museu que esperamos ser complementada, conforme solicitação feita à UNEB; contamos também com 6 monitores contratados pela FAPESB, orientados pelos professores da UFBA que participam do projeto e com o auditório do museu que tem capacidade para 200 pessoas e equipamentos para palestras e projeções.

1. Equipamentos recebidos:

I. Bicicleta geradora de energia
II. Câmera escura
III. Periscópio
IV. Cadeira giratória
V. Conchas acústicas
VI. Fogão solar parabólico
VII. Girobyke

2. Foram confeccionadas e entregues ao Museu, 25 bancadas em compensado naval que são as bases para os equipamentos.

3. Equipamentos a serem entregues:

- Microcomputador portátil adquirido por Prof. Esperidião, encontra-se sob a guarda do Instituto de Física da UFBA.
- Modelo reduzido de máquina a vapor, do acervo do museu, que está sendo recuperado pela Oficina da Fundação Escola Politécnica da Bahia;
- 22 equipamentos foram confeccionados pelo Atelier de Brinquedos Científicos (SP):

a. Locomotiva de inércia
b. Ludião
c. Super looping
d. Força centrífuga c/ dupla demonstração
e. Banco ótico giratório

f. Anamorfose (espelho cilíndrico)
g. Olho humano
h. Transmissão sonora por fibra óptica (telefonia)
i. Gerador de Van de Graaf
j. Máquina eletrostática de Winshurst
k. Anel saltante
l. Chispa ascendente com variação de velocidade
m. Bobina de Tesla
n. Instalação custo-consumo de energia elétrica
o. Indução eletromagnética em placa de alumínio (freio magnético)
p. Película plana de sabão
q. Sistema de ressonância entre pêndulos e hastes
r. Composição e decomposição da luz branca
s. Miragem
t. Eletróforo
u. Rádio de galena
v. Sombras coloridas

4. Para compor a sala e a área externa, serão confeccionadas 15 placas (painéis) pelo processo de impressão digital;

   Acervo do museu a ser incorporado à exposição:

   a. Locomotiva
   b. Carro-de-bois
   c. Avião
   d. Relógio de sol
   e. Impressora rotativa
   f. Roldana
   g. Pilha de volta
   h. Duplo cone
   i. Imã permanente
   j. Disco de Newton
   k. Tubo de Galileu
   l. Anel de Gravezande
   m. Radiômetro de Crooks
   n. Gerador manual

5. Atividades que foram realizadas para a instalação/abertura da exposição:

- Montagem/instalação de equipamentos
- Montagem da exposição
- Aquisição de CDs e DVDs sobre os temas da exposição
- Confecção de cartazes e folders
- Treinamento de monitoria/elaboração de programação
- Divulgação

Equipamentos confeccionados pelo Instituto Eco-engenho, projeto de técnico do Museu – Marçal Ribeiro da Fonseca (itens VI e VII citados anteriormente):

VI. Fogão solar
Equipamento interativo para divulgação de energia solar em seu aspecto térmico, concentrador do tipo parabólico. Consta de espelho metálico de 1,50 m de diâmetro e distância focal de 52,50 cm. O conjunto da estrutura do espelho pode ser orientado em função das coordenadas, do azimute e da altura. O apontamento continuado do espelho foi confeccionado por mira gnomônica. A estrutura móvel apresenta um braço ajustável para sustentar panela ou grelha e a temperatura é suficiente para cozinhar ou fritar alimentos variados para demonstração ao público.

VII. Girobyke
Equipamento interativo baseado em mecânica byke, estruturada para demonstrar as transformações energia – muscular/elétrica, efeito giroscópico, disco de Newton e efeito estroboscópico. Montada num anel tubular metálico (2") suspenso e articulado por junta universal, pode girar 360° em torno de um eixo vertical. O anel pende de uma estrutura metálica tubular fixa que cumpre também função estética. A estrutura fixa é composta de um anel horizontal (R = 150 cm) de tubo de aço carbono (3") e um arco pleno (R = 150 cm) perpendicular de mesmo material (3"). A estrutura móvel suporta o gerador de CC e os demais equipamentos e acessórios intercambiáveis; a roda, aro 26 inclui duas calotas lenticulares pintadas como discos de Newton e servem também como proteção contra acidentes nos raios da roda. O conjunto roda/pneu deverá ter um tratamento especial para acentuar o efeito volante de inércia, visando o efeito giroscópio. O conjunto se apóia em 4 rodízios com trava, pode ser desmontado com facilidade e a sua pintura é especial para uso externo, além da valorização estética, permite uma adesivação pertinente.

A interação com o Instituto de Física (Relato de Iuri Pepe)

Por volta do dia 1º de julho de 2005, recebi a visita do Professor Sérgio Esperidião no Laboratório de Propriedades Óticas, que nessa época ainda ocupava os antigos locais no quarto andar do Instituto de Física. Nessa visita, Sérgio propunha que o LaPO projetasse, desenvolvesse e montasse cinco diferentes experimentos, que seriam expostos numa sala do Museu de Ciência e Tecnologia da Bahia. Estes experimentos eram (itens I a V citados anteriormente):

I. Bicicleta Geradora

II. Câmara Escura

III. Periscópio

IV. Cadeira Giratória

V. Conchas Acústicas.

Sempre com muito otimismo e uma certa pressa, Sérgio voltou em três outras oportunidades para fazer os últimos acertos, tanto do ponto de vista técnico quanto do ponto de vista comercial, já que notas fiscais eram requeridas para a prestação de conta dos recursos do projeto.

Numa proposta datada do dia 15 desse mesmo mês, ficaram acertados os custos e os parceiros envolvidos na realização de tais experimentos. De um lado, o Laboratório de Propriedades Óticas, participando como consultoria técnica no estudo e na realização dos protótipos; de outro lado, a Starks Produtos Eletrônicos – Indústria e Comércio, parceira comercial nessa empreitada.

Por uma dessas coincidências felizes, o engenheiro Ivan Monsão encontrava-se em visita ao nosso laboratório e dividiu conosco o trabalho de produção desses experimentos.

A Bicicleta Geradora tem por objetivo levar o visitante a refletir sobre a geração e a conservação de energia elétrica. É um dispositivo eletromecânico cuja potência gerada é proporcional à potência muscular gerada pelo visitante. Tal proporcionalidade pode ser visualizada em um *display* luminoso ou percebida pela variação de velocidade das pás de um ventilador. Esta última opção cria um efeito de *cartoon*, onde o visitante é refrescado em função do esforço aplicado.

A Câmara Escura é um sistema ótico capaz de concentrar a imagem de uma paisagem sobre uma placa de vidro fosco jateado de 300 cm^2. Este equipamento servia a pintores, desenhistas e cartógrafos nos séculos anteriores à fotografia. Quase como uma instalação cenográfica, o Periscópio permite ao visitante inspecionar em 360 graus a sala de exposição sem sair do seu posto de observação. Esta montagem de espelhos conta com dois espelhos a 45 graus, montados em um tubo em forma de biela que teve seu interior enegrecido, como se faz nos telescópios.

A Cadeira Giratória, ou Mesa Giratória, é usada na demonstração da existência do momento de inércia, quando um corpo com uma dada distribuição de massa e geometria é posto a girar. São inúmeras as demonstrações que podem ser feitas com tal aparato, sendo que a maior vantagem reside no fato da interatividade, já que o visitante será o próprio agente dessa experimentação.

As Conchas Acústicas constituem um par de espelhos parabólicos, cujas dimensões possibilitam a reflexão condensada do som, em especial na faixa de espectro da voz humana, entre 300 e 5.000 Hz. Se dois interlocutores estiverem no foco de cada uma das parábolas, é possível conversar com alto grau de inteligibilidade, mesmo se estas duas pessoas estiverem distantes vários metros, desde que as parábolas estejam em visada direta.

Considerações Finais

A pessoa de Sérgio se foi, deixando em nós sua imagem e um pouco de sua essência. O projeto do museu traduz, de forma precisa, o significado dessa essência: um professor completamente sensibilizado com causas sociais e, em especial, com a divulgação da ciência. O Professor Sérgio deixa um legado conceitual de valor inefável. Como gratificação deixa-nos: a reestruturação inicial do Museu de Ciência e Tecnologia; a formação de um grupo de pesquisa em divulgação científica, com o aporte de seis bolsas de monitorias para o Instituto de Física e a esperança de que, em algum lugar dentro de nós, possa brotar a pequena e robusta semente de solidariedade que ele plantou. Que este relato sirva como uma humilde prestação de contas da imensa herança que ele nos deixou.

O Museu de Ciência e Tecnologia foi reaberto oficialmente em 23 de outubro de 2006, com representantes da UFBA; a diretora do Museu, Adriana Cunha; o Reitor da UNEB, Prof. Lourisvaldo Valentim da Silva; esposa e filhos do Prof. Sérgio Esperidião, funcionários, entre outros. A sala de física interativa, que leva o nome do Prof. Sérgio Esperidião, é composta de 25 equipamentos de física, ótica e eletricidade. De 23 de outubro até dezembro de 2006, o MC&T recebeu mais de 3.000 visitantes, sendo que 1.518 destes visitantes foram estudantes de escolas públicas e particulares.

	Colofão
Formato	17 x 24 cm
Tipologia	Myriad Pro e família 10,5/14,6
Papel	Alcalino 75 g/m² (miolo) Cartão Supremo 250 g/m² (capa)
Impressão	Setor de Reprografia da EDUFBA
Capa e Acabamento	ESB - Serviços Gráficos
Tiragem	200